

# ACTUALIZACIÓN Y MEJORA DE LA RED DE NIVELACIÓN GEOMÉTRICA DE LA MARISMA DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA Y DEL MODELO SEDIMENTARIO APOYADO EN LA MISMA (2007-2012)

JOSÉ CARLOS ROBREDO SÁNCHEZ<sup>1</sup>, JUAN ÁNGEL MINTEGUI AGUIRRE<sup>1</sup>,  
PABLO HUELIN RUEDA<sup>1</sup>, CARLOS DE GONZALO ARANO<sup>1</sup>  
Y JUAN IGNACIO GARCÍA VIÑAS<sup>2</sup>

## RESUMEN

Este artículo constituye la tercera entrega relacionada con la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del Parque Nacional de Doñana; surgida como un instrumento para plantear la configuración de un modelo sedimentario para la marisma. Tras su ejecución (1995-99) y posterior ampliación (2005-06) se comprobó su utilidad por sí misma y la conveniencia de su actualización. Ésta se ejecutó nuevamente asociada con la necesidad de mejorar el modelo sedimentario para estimar la evolución de la solera de la marisma a lo largo del tiempo.

El artículo comienza exponiendo los efectos detectados hasta el año 2006, en algunos de los elementos utilizados para enrasar la solera de la marisma en los meses que permanece seca, que alternan con sus inundaciones periódicas de otoño-inverno. Se analizan las causas inmediatas que pudieran explicar dichos efectos, para centrarse a continuación en la búsqueda de la solución más idónea para mejorar, tanto la propia Red de Nivelación Geométrica de la marisma del Parque Nacional de Doñana, como la información deducible de ella para analizar los procesos de erosión-sedimentación en la misma. La conclusión resultante ha consistido en reposicionar las coordenadas geográficas ( $x, y$ ) de la Red con un GPS Diferencial; pero manteniendo los valores ortométricos de la coordenada altimétrica.

**Palabras clave:** nivelación geométrica; sedimentación-erosión en la marisma; reposicionar las coordenadas de la red de nivelación geométrica.

## SUMMARY

This article is the third installment regarding the Geometrical Levelling Network of the marsh of the Doñana National Park. The network has appeared as an instrument to plan the configuration of a sedimentary model for the marsh. After its execution (1995-1999) and subsequent extension (2005-2006) the usefulness of it and the benefit of the actualization have been proved. The

---

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> Grupo de Investigación Ecogefor Universidad Politécnica de Madrid. 28040 MADRID.

actualization was carried out combined with the need of improving the sedimentary model to assess the evolution of the level of the marsh throughout the time.

The article begins showing the effects noticed in some of the elements used to measure the level of the marsh until 2006. Those landmarks are flooded in autumn-winter and they are visited during the months when the marsh stays dry. The causes that could explain those effects are analyzed to focus afterwards on the proper solution to improve the Geometrical Levelling Network of the marsh of Doñana National Park. Moreover, the information deducible from it is used to assess the erosion-sedimentation processes. The resultant conclusion is to reposition the geographic coordinates (x, y) of the Network with Differential GPS but preserving the orthometric values for the elevation coordinate.

**Key words:** geometrical levelling, sedimentation-erosion in the marsh, reposition of coordinates of the geometrical levelling.

## INTRODUCCIÓN

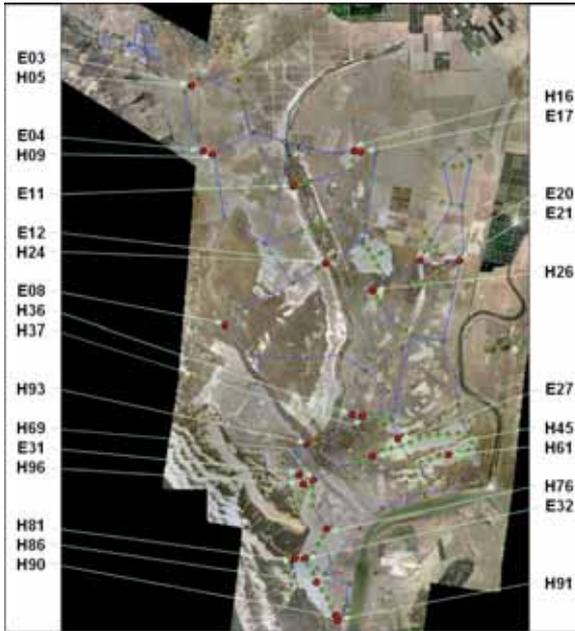
Al redactar en octubre de 2006 el informe preliminar del «Proyecto de ampliación, seguimiento y actualización del modelo sedimentario de la marisma del Parque Nacional de Doñana» (en adelante PND), los años transcurridos desde el inicio de la toma de datos en la marisma (1995) aportaban en algunos casos series suficientemente largas, como para plantear un estudio estadístico de la evolución de su solera. En consecuencia se realizó un primer ajuste lineal, para definir la tendencia que presentaban las lecturas de los enrasos de la solera de la marisma en los dos tipos de instrumentos utilizados para las mediciones (las escalillas de los hito-fenos instalados en ella durante su nivelación geométrica y la base de las escalas de registro de su inundación, en adelante base de las escalas), estableciéndose la pendiente de la línea de tendencia en mm/año y el cuadrado del coeficiente de correlación del momento del producto Pearson  $R^2$ .

Como el número de lecturas disponibles en cada instrumento era muy variable, sólo en aquellos en los que existía una cierta cantidad de datos se planteó valorar dicha tendencia, porque ésta podía ofrecer cierto rigor. Por otro lado, se apreció que las oscilaciones eran importantes de unos años a otros, aunque al final del período las lecturas llegasen a ser similares a las iniciales. También se tuvo

en cuenta que se trataba de una información puntual, por lo que si se detectaba cierta tendencia significativa (positiva o negativa), sería conveniente confirmarla en el entorno de los correspondientes elementos de medida, repitiendo las nivelaciones geométricas realizadas en dirección a los mismos. Por todo ello, se analizaron los elementos que tuvieran 8 o más lecturas y un coeficiente  $R^2 > 0,1$  y de éstos se seleccionaron los que presentaban una pendiente de la línea de tendencia superior a 2,5 mm/año en valor absoluto, resultando los 28 elementos que se enumeran en la Tabla 1 y se muestran sobre la marisma del PND en la Figura 1.

Las unidades utilizadas en el ajuste de las líneas de tendencia en cada uno de los elementos, incluidos en la Tabla 1 y representados en los gráficos de la Figura 2, fueron «días» para el eje del tiempo y «cm» para el eje de los aterramientos; en consecuencia la pendiente de las rectas quedaba definida por cm/día, que resultaba una unidad poco intuitiva; por lo que se transformaron dichas pendientes a mm/año y así aparecen en la Tabla 1; aunque en los gráficos se mantienen las unidades originales. Los 28 elementos mencionados y sus tramos asociados, en los que en un principio se planteó levantar de nuevo su nivelación geométrica, son los siguientes:

- 1) La escala E03 y el hito-feno H05 ambos muy próximos entre sí y situados en el centro de



Ubicación en de la marisma del PND de los instrumentos de medida, en los que se detectó una ligera variación (de la línea de pendiente) del enrase de la solera de la marisma respecto a su comportamiento general en el conjunto de los elementos de medida; lo que sugirió el levantamiento de una nueva nivelación geométrica de los tramos de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma PND de 1995-99 convergentes en ellos.

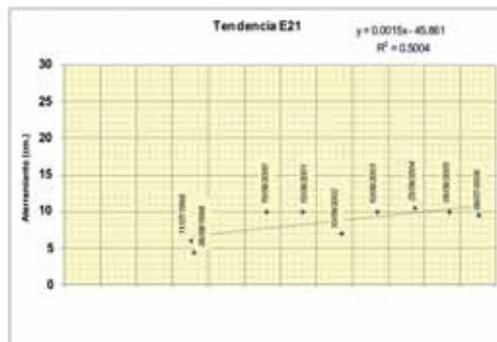
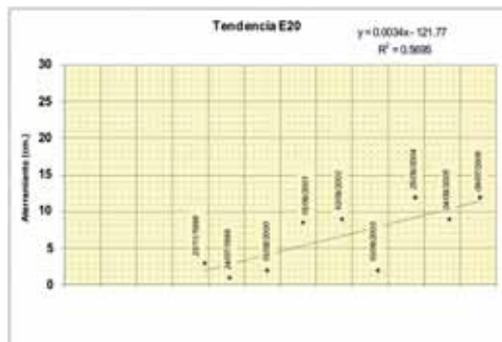
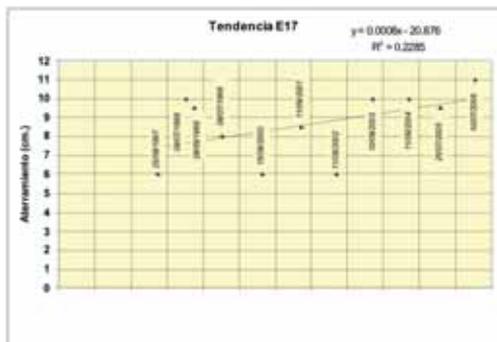
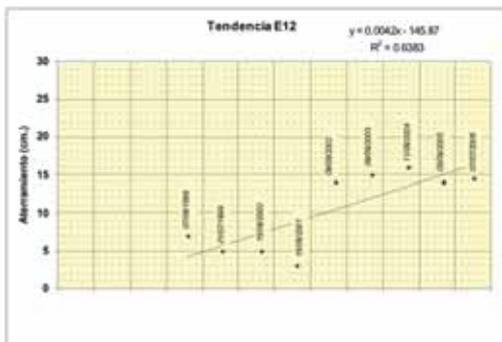
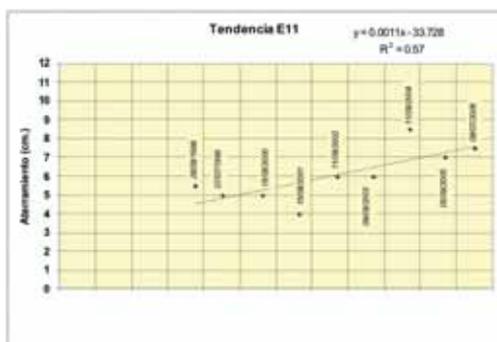
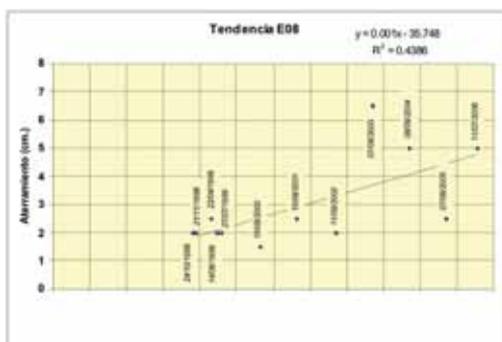
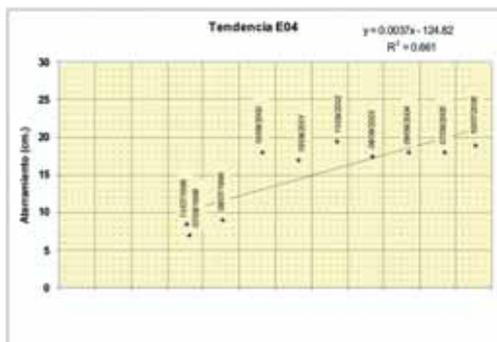
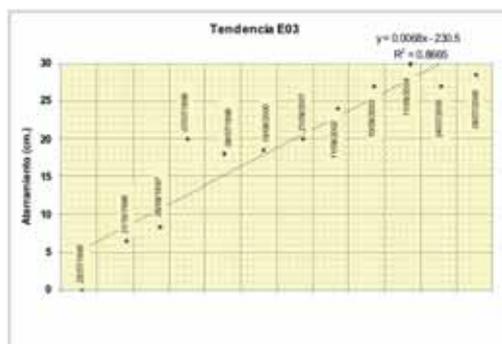
Location in the DNP marsh of the measurement instruments in which a light deviation of the slope line was detected regarding the level of the marsh and the general behaviour of the set of measurement elements. This suggested the survey of a new geometrical levelling in the stretches of the Geometrical Levelling Networks of the DNP marsh 1995-1999 converging to them.

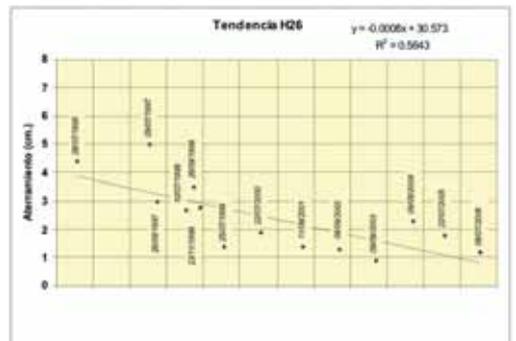
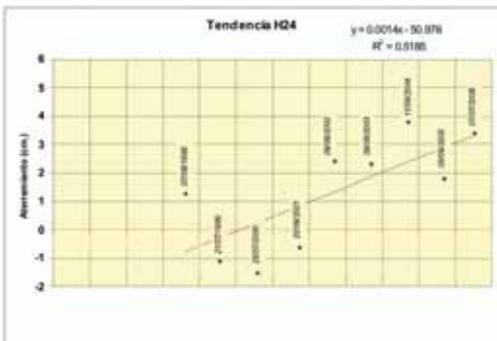
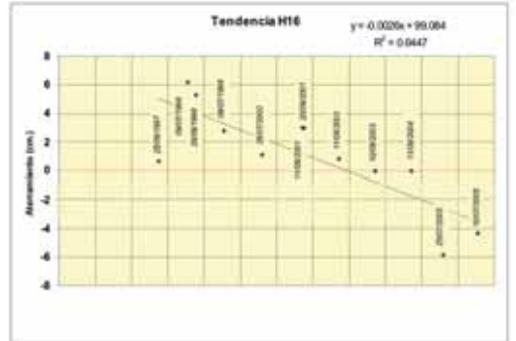
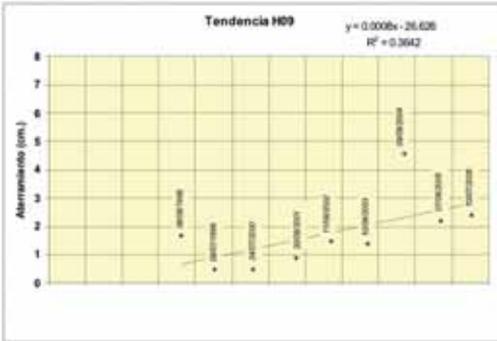
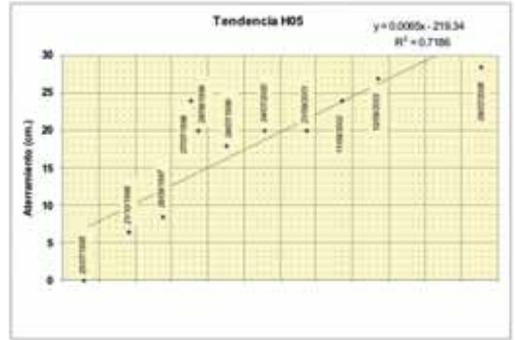
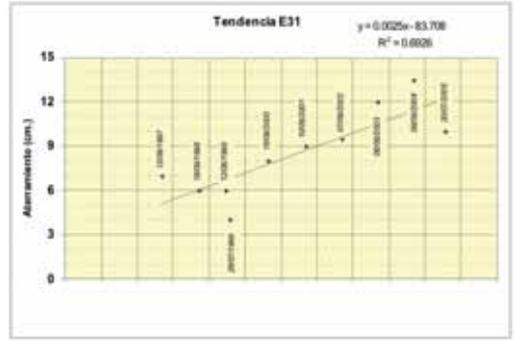
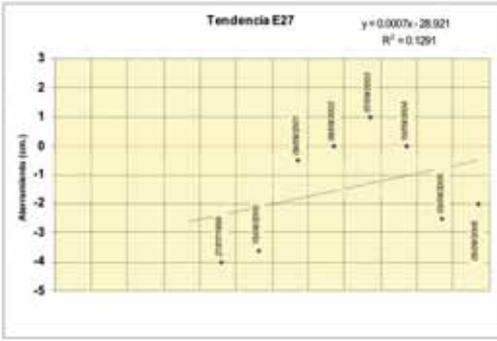
CÓDIGO	mm/año	R <sup>2</sup>	Núm. lecturas
E03	24,67	0,8665	12
E04	13,69	0,6610	10
E08	3,80	0,4386	12
E11	3,88	0,5700	9
E12	15,23	0,6383	9
E17	2,89	0,2285	11
E20	12,49	0,5695	9
E21	5,31	0,5004	9
E27	2,66	0,1291	9
E31	9,09	0,6926	10
E32	5,55	0,6351	10
H05	23,68	0,7186	11
H09	2,76	0,3642	9
H16	-9,63	0,6447	12
H24	5,09	0,5185	9
H26	-2,79	0,5643	14
H36	-3,06	0,6402	11
H37	-2,91	0,5785	10
H45	-3,31	0,7572	11
H61	-2,97	0,5660	11
H69	-4,23	0,7907	10
H76	-12,53	0,9061	12
H81	6,77	0,5144	11
H86	-2,90	0,6825	12
H90	-3,00	0,5433	13
H91	4,52	0,4070	11
H93	3,23	0,5889	8
H96	2,67	0,4728	11

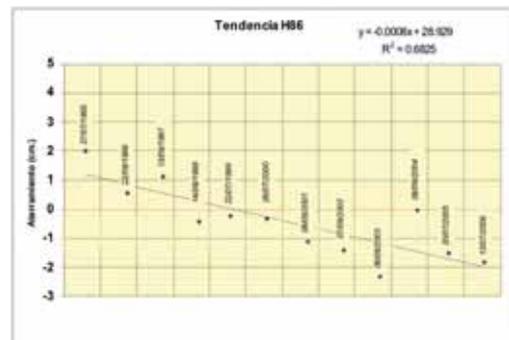
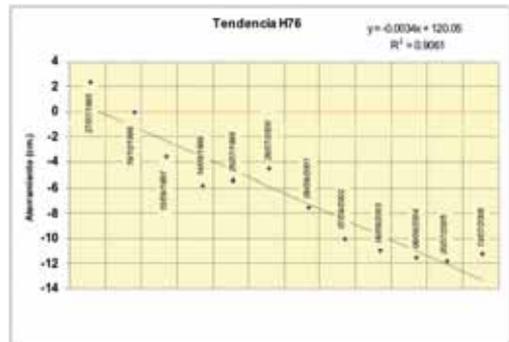
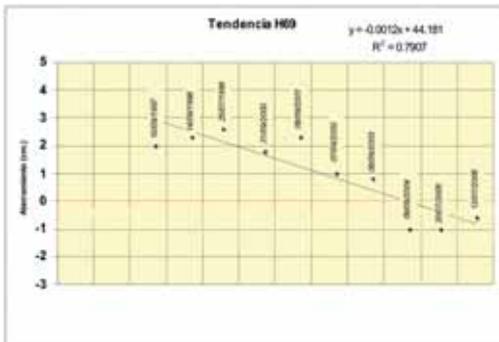
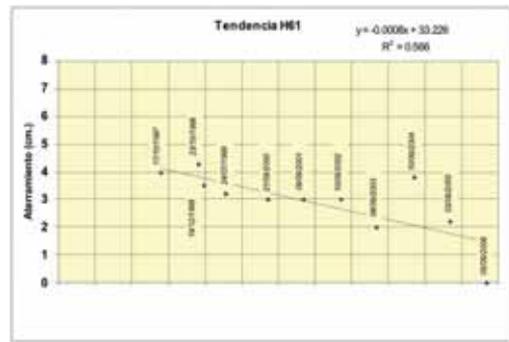
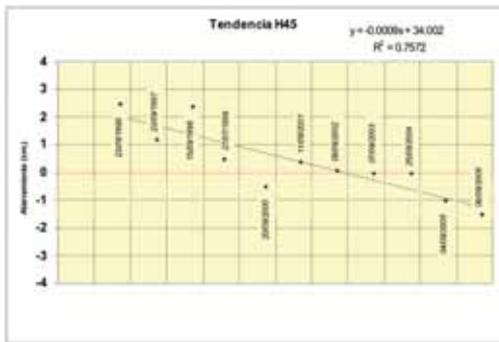
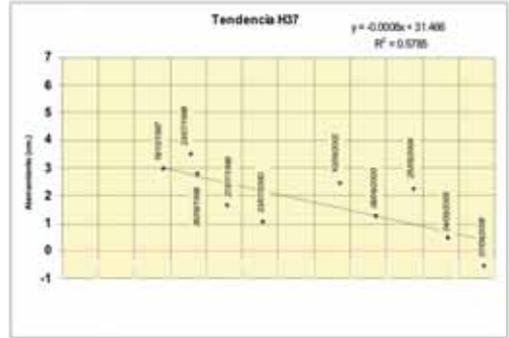
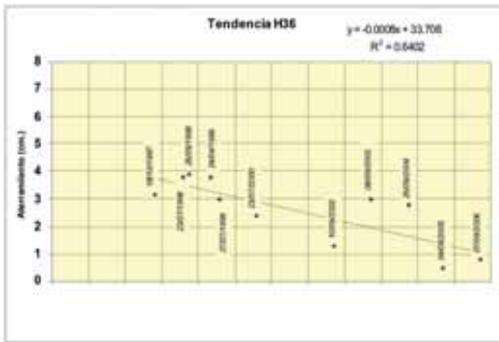
**Tabla 1.** Elementos en cuyo entorno se propuso repetir la nivelación geométrica de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND efectuada entre 1995-99.

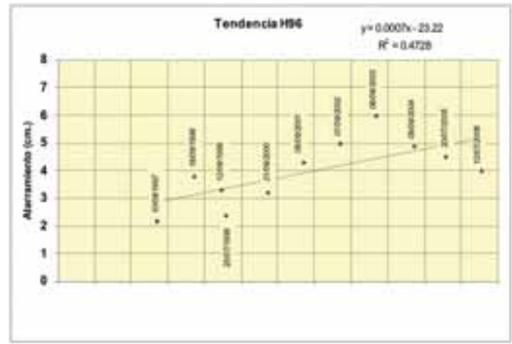
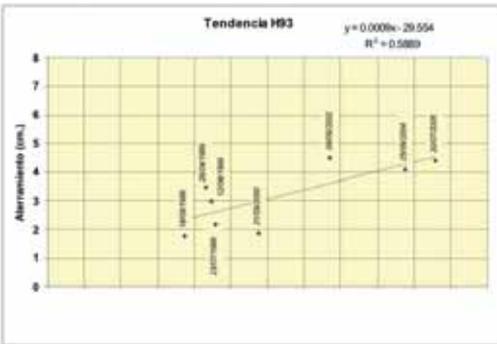
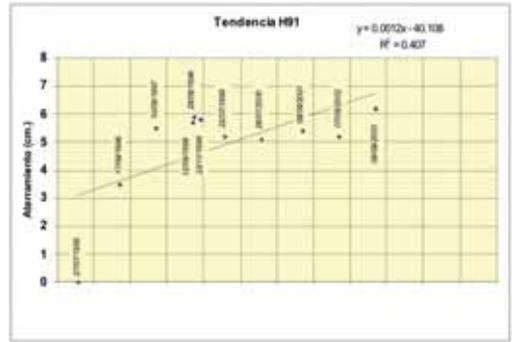
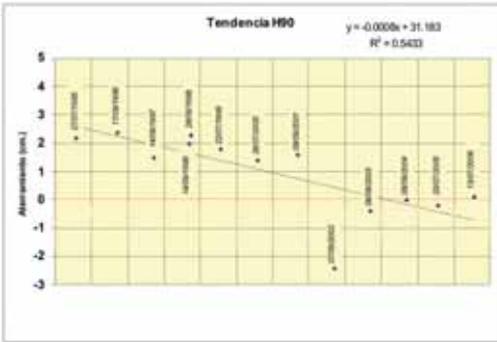
**Table 1.** Elements where repetition of the geometrical levelling of the Geometrical Levelling Network of the marsh of DNP between 1995-1999 was proposed.

- 1) la primera sección transversal del caño de la Madre en el paraje de las Yeguas y definida, según la nomenclatura adoptada por MINTEGUI & ROBREDO (2001), por N-H04-H05-H06.
- 2) La escala E04 y el hito-feno H09 ubicados en la segunda sección transversal del caño de la Madre, definida por N-H07-H08-H09 y situada en el paraje de Resolimán.
- 3) La escala E08 situada en la tercera sección transversal del caño de la Madre a la altura del Palacio de Doñana y definida por N-H30-H31-H32.
- 4) La escala E12 y el hito-feno H24 ambos muy próximos y ubicados en el entorno de la cancela Millán, en el centro de la segunda sección transversal del caño Guadamar definida por N-H23-H24-H25.
- 5) La escala E31 ubicada en el lucio de Ventalengua chico, que registra la cota más baja de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma (0,712 m), y el hito-feno H96 situado en el extremo norte del eje de la nivelación geométrica con precisión efectuado en dicho lucio en 1997. Ambos puntos se enlazaron con una nivelación geométrica de unión (12-06-1999).









Línea de tendencia del enrase de la solera de la marisma en el instrumento de medida en cuestión (EXX: base de la escala de medida de la inundación de la marisma; HXX: escalillas adosadas a los hito-fenos utilizados en la nivelación geométrica de la marisma).

Trend line of the level of the marsh measured with the a certain instrument (EXX: base of the main flood scale in the marsh; HXX; scales attached to landmarks used in the geometrical levelling of the marsh).

- 6) El hito-feno H26 situado en el extremo norte de la nivelación N-H26-H27-H28 que atraviesa longitudinalmente al lucio de Mari López chico. Cuando se niveló este lucio en 1997 apenas tenía vegetación; pero en 2006 estaba totalmente cubierto de bayunco.
- 7) Los hito-fenos H36 y H37 ubicados en el extremo oriental de la segunda sección transversal del caño Travieso, definida por N-H36-H37-H38-H39-H40 y situada en el paraje de Las Nuevas.
- 8) El hito-feno H45 situado en el eje común del complejo lucio del Rey-lucio de los Ánsares, justo en la divisoria entre ambos lucios.
- 9) El hito-feno H61 situado en el eje común de los lucios de Sanlúcar y Sevilla, justo en la divisoria entre ambos lucios.
- 10) El hito-feno H69 situado en el extremo norte del lucio de Vetalengua grande.
- 11) Los hito-fenos H76; H81; H86; H90; H91 y la escala E32 situados en el lucio del Membrillo. En el caso del hito-feno H81, al estar ubicado entre arenas fuera del lucio del Membrillo, se desestimó la nivelación del tramo N-H82-H81 convergente en él.

No se planteó levantar nuevas nivelaciones geométricas en dirección a los restantes instrumentos de medida, que se mencionan a continuación, mientras no se tuvieran los resultados de las nivelaciones anteriores.

- 1) La escala E11 ubicada en el centro de la primera sección transversal del caño Guadiamar, entre los hito-fenos H11 y H12, en el paraje de los Pocitos del Rocío.

- 2) La escala E17, situada en el extremo noro-oriental del lucio del Lobo, próximo al muro de la FAO.
- 3) La escala E20, ubicada en el centro del caño Travieso, aguas abajo de la divisoria que existía de la finca de Caracoles antes de su incorporación al PND.
- 4) La escala E21, ubicada al este de la escala anterior E20 y próxima a Entremuros.
- 5) La escala E27, situada próxima al borde septentrional del lucio de los Ánsares y aproximadamente en el centro del complejo lucio del Rey-lucio de los Ánsares.
- 6) El hito-feno H16 situado en el extremo norte del eje de nivelación geométrica del lucio del Lobo y muy cerca del muro de la FAO.
- 7) El hito-feno H93 situado dentro de un corral en la cuarta sección transversal del caño de La Madre en el paraje de Juncabalejo.

Las nivelaciones geométricas se iniciaron en el verano de 2007, levantándose los perfiles de los siguientes tramos:

- 1) Los N-H05-H04 y N-H05-H06 que configuran la primera sección transversal del caño de la Madre en el paraje del lucio de Las Yeguas.
- 2) El N-H08-H09 de la segunda sección transversal del caño de la Madre. No se pudo levantar el otro tramo, porque el caño de la Madre estaba inundado parcialmente y la humedad del terreno impedía ejecutar las operaciones topográficas.
- 3) Los N-H89-H90 y N-H90-H91 del extremo más meridional del eje longitudinal del lucio del Membrillo.
- 4) El N-H69-H73 del eje del lucio de Vetalen-gua grande.
- 5) El N-H60-H61, último del eje del lucio de Sanlúcar, y el N-H61-H62, primero del mismo eje en el lucio de Sevilla, en dirección oeste-este.

Se detectó un aterramiento puntual en el centro de la primera sección transversal del caño de la Madre; cuyo previsible origen era la llegada

de sedimentos hasta el mismo, procedentes de los márgenes del cono de sedimentación del arroyo del Partido situado aguas arriba; pero en el resto de los perfiles levantados con las nuevas nivelaciones geométricas con precisión no se observaron variaciones significativas, respecto de los perfiles obtenidos entre 1995-99 con el levantamiento de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma, salvo en los entornos inmediatos de los propios elementos. Sin embargo, se constató que había ciertas diferencias entre las mediciones efectuadas en las escalillas de los hito-fenos y las realizadas en la base de las escalas y esta constancia reorientó la investigación.

La solución final se encontró el verano siguiente de 2008 y consistió en reposicionar todos los puntos de la Red de Nivelación Geométrica, directamente identificables en la marisma, con un GPS Diferencial; lo que permitió, además de mejorar la precisión de las coordenadas ( $x$ ,  $y$ ) de los mismos, obtener el valor de su coordenada de altitud  $z$  en el elipsoide WGS84. Por otro lado, como a través de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND se disponía de la cota ortométrica de los puntos definidos con la misma; se abrió una vía para llevar a cabo un mapa de ondulación del geoid con respecto al elipsoide WGS84 (es decir, de establecer la distancia entre la  $z$  ortométrica y la altitud del punto respecto al elipsoide en cuestión) que abarcara a toda la superficie de la marisma. Estas cuestiones, junto con la mejora del modelo sedimentario de la marisma, se desarrollan en los apartados siguientes.

## OBJETIVOS

- a) Confirmar la posición de los puntos establecidos con la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND, efectuada entre 1995-99 y ampliada entre 2005-06, especialmente de los que son directamente identificables en la marisma, por estar referidos a un elemento material ubicado en ella (hito-feno, escala, compuerta, etc.) y mejorar la precisión de sus coordenadas geográficas planimétricas ( $x$ ,  $y$ );
- b) Comprobar la inmovilidad o mejor dicho el posible grado de movilidad de los puntos

de la Red referidos a elementos materiales situados en la marisma, especialmente de los hito-fenos y de las escalas de medida de la inundación y *c*) Explicar en términos sedimentarios la variación de la pendiente (mm/año), referente al enrase de la solera de la marisma en algunos instrumentos de medida situados en ella. El desarrollo de los dos primeros objetivos determinó una nueva meta: *d*) Plantear un mapa de ondulación del terreno de la marisma del PND.

## METODOLOGÍA

Dadas las peculiares características del «Proyecto de ampliación, seguimiento y actualización del modelo sedimentario de la marisma del PND», su metodología se adecuó a la aplicación de las técnicas necesarias para conseguir sus dos objetivos principales: *1*) La actualización de la estructura de la propia Red de Nivelación Geométrica de la marisma PND y sus posibilidades de aportar información para mejorar el desarrollo del modelo sedimentario de la marisma; *2*) La adopción de nuevos criterios para enrasar la solera de marisma del PND en los elementos de medida establecidos al efecto (escalillas de los hito-fenos y base de las escalas de registro de la inundación de la marisma).

### Actualización de la estructura de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma PND

Para abordar el primer objetivo se realizaron las operaciones siguientes: *a*) Un conjunto de nuevas nivelaciones geométricas con precisión en los tramos de la Red de Nivelación Geométrica de 1995-99, en los que la solera de la marisma presentaba cierta desviación respecto a su comportamiento general en el resto de los instrumentos de medida; *b*) Un análisis de los resultados de las mediciones entre 1995-2007 del enrase de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos instalados en ella y en la base de las escalas de medida del nivel de su inundación y *c*) La utilización de un GPS

Diferencial para reposicionar los puntos de la Red de Nivelación Geométrica de 1995-99 y de su Ampliación entre 2005-06, especialmente de los que se pueden identificar directamente en la marisma, por estar referidos a algún elemento material instalado en ella. A continuación se describen dichas operaciones.

*Nuevas nivelaciones geométricas con precisión en algunos tramos de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND de 1995-99, donde su solera presentaba ligeras desviaciones puntuales respecto al comportamiento general en los restantes instrumentos de medida*

Se ha comentado hacia el final de la introducción de este artículo, que en el verano de 2007 se levantaron nuevas nivelaciones geométricas con precisión en el entorno de los elementos siguientes: *a*) E03 y H05; *b*) E04 y H09; *c*) H90 y H91; *d*) H69 y *e*) H61. Las Figuras 3, 5, 6, 7 y 8 muestran los resultados de las nivelaciones realizadas, que afectan a los tramos que convergen en dichos elementos (en verde) y, junto a ellos, los mismos perfiles obtenidos: *a*) con la nivelación geométrica efectuada durante el levantamiento de la Red de Nivelación de 1995-99 (en azul); *b*) definidos con el vuelo Lidar (en rosa) y *c*) el desplazamiento que requiere la sección definida con el vuelo Lidar, para encajar con el levantamiento obtenido con la nivelación geométrica (en naranja). La sección obtenida con el vuelo Lidar tiene un mayor número de puntos y ofrece una mejor definición del relieve; pero sus puntos no están referidos al geode, como ocurre con los obtenidos con la nivelación geométrica, sino al elipsoide WGS84. En cualquier caso, existe una buena correlación entre los perfiles obtenidos con ambos métodos.

*a*) La Figura 3 muestra la nueva nivelación geométrica con precisión de la primera sección transversal del caño de La Madre definida por el perfil H04-H05-H06. En la nivelación de julio de 2007 (en verde) se detecta en la zona central de la sección, donde se ubican la escala E03 y el hito-feno H05, un incremento de cota significativo respecto de la nivelación de 1995 (en azul) y del perfil obtenido con el vuelo Lidar (en

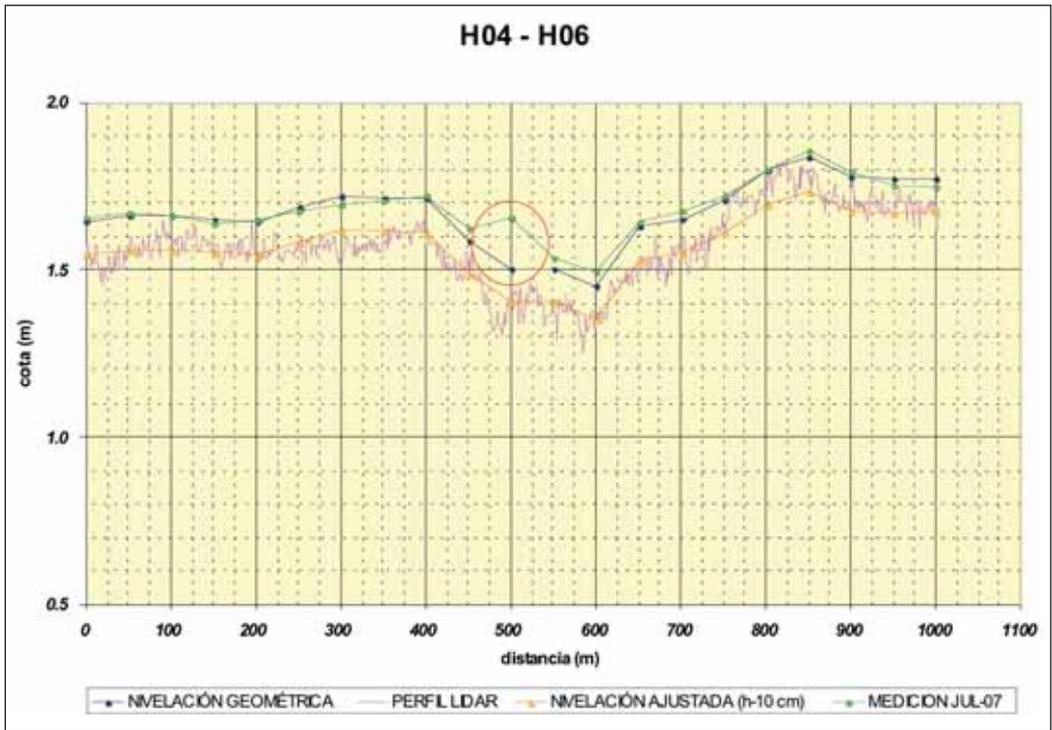


Figura 3. Nueva nivelación geométrica con precisión de 2007 en la primera sección transversal del caño de la Madre (en verde). Anterior nivelación geométrica con precisión de 1995 (en azul). El mismo perfil definido con el vuelo Lidar de 2002 (en rosa) y el desplazamiento que requiere la sección establecida con el vuelo Lidar para encajar con la nivelación geométrica (en naranja).

Figure 3. New precise geometrical levelling in 2007 (green) of the first cross section of Madre stream. Previous precise geometrical levelling in 1995 (blue). The same profile defined with the airborne Lidar in 2002 (pink) and the displacement needed to adjust it to the geometrical levelling (orange).

rosa). Se trata de un punto singular que afecta a una longitud muy reducida del tramo central (la nivelación de julio de 2007 magnifica esta influencia, porque los puntos del terreno obtenidos con la nivelación que aparecen en el gráfico están distanciados 50 m); pero el efecto sobre los puntos E03 y H05 es real. La escala E03 está cercada por una valla para protegerla del ganado, lo que ocasiona que su cota sea mayor que la de su entorno, que se encuentra pisoteada por el ganado; pero también hay que considerar que el hito-feno H05 se encontraba enterrado en julio de 2007, lo que imposibilitó su utilización como apoyo de la nueva nivelación. Sin embargo, se constató que la mayor parte del itinerario de la nivelación entre los hito-fenos H04 y H06 prácticamente no sufrió variación respecto de la nivelación de 1995.

Por tanto, el efecto se reducía al centro del caño de La Madre.

En julio del año siguiente 2008 se desenterró el hito-feno H05 y se analizaron dos muestras del suelo que lo cubría (Figura 4), en ambos casos su textura resultó limosa; apuntando con ello a que su procedencia pudiera deberse al transporte, durante las avenidas del arroyo de la Madre, de los sedimentos más finos situados al borde del cono de sedimentación del arroyo del Partido asentado en la marisma de El Rocío.

En esta sección no se detectó un hundimiento de la escala E03; pues cuando se desenterró el hito-feno H05, se comprobó que la base de la escala y la base del hito-feno se encontraban al

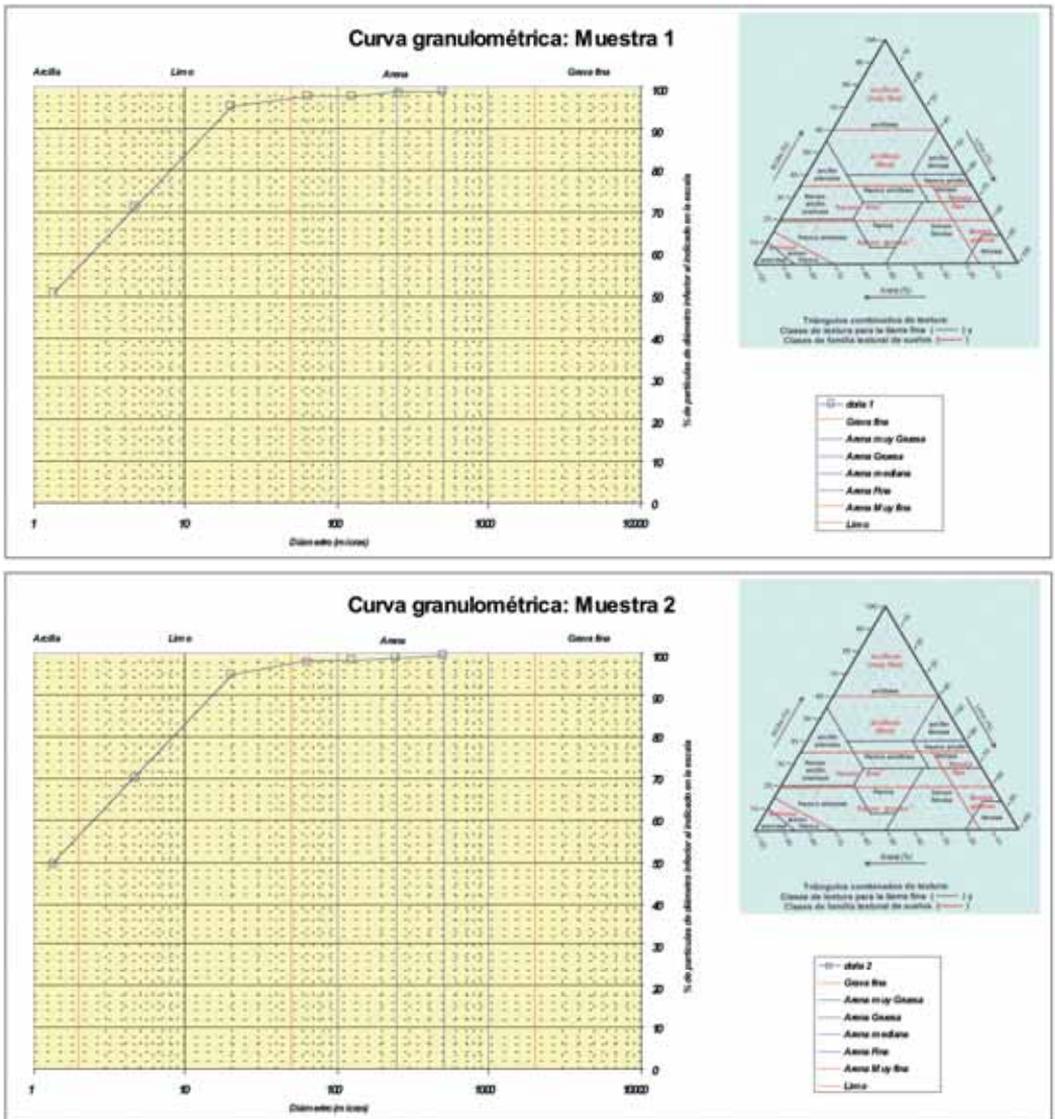


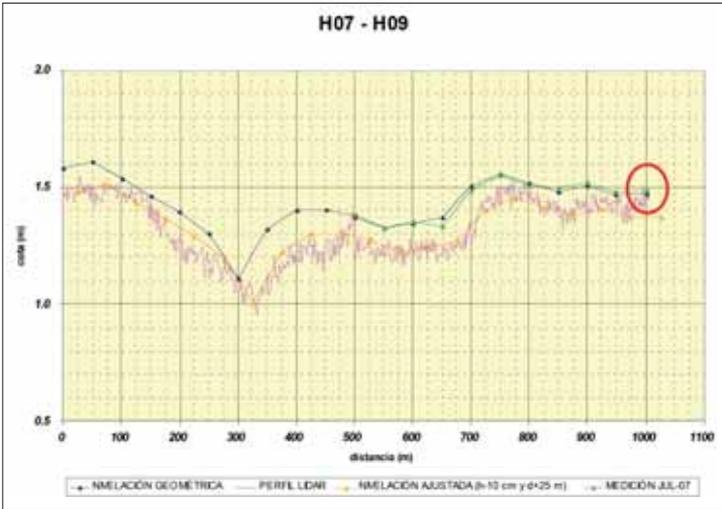
Figura 4. Análisis granulométrico de los sedimentos depositados sobre el hito-feno H05, situado en el centro de la primera sección transversal del caño de la Madre en el paraje del lucio de las Yeguas.

Figure 4. Granulometric analysis of sediments over landmark H05 placed in the centre of the first cross section of Madre stream, in the Yeguas pond area.

mismo nivel, tal como estaban en julio de 1995, cuando se instaló el hito-feno en la marisma.

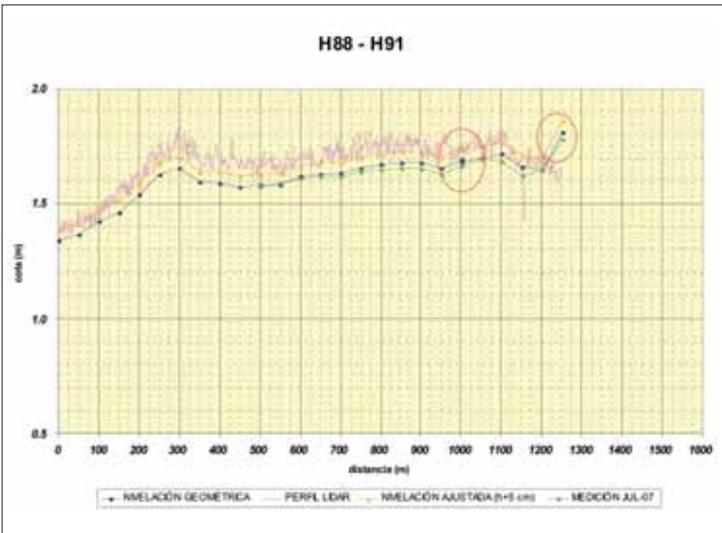
b) También fue objeto de una nueva nivelación geométrica con precisión el tramo izquierdo, en sentido aguas abajo, de la segunda sección

transversal del caño de la Madre. Dicho tramo N-H08-H09 (lado derecho en la Figura 5) afecta a la escala E04 (situado junto al hito-feno H08) y al hito-feno H09. No se niveló el tramo de la derecha, N-H08-H07, porque en la fecha en cuestión las condiciones de humedad de la



**Figura 5.** Nueva nivelación geométrica con precisión de 2007 (en verde) del perfil N-H08-H09 de la segunda sección transversal del caño de la Madre. Anterior nivelación geométrica con precisión de 1998 (en azul). El mismo perfil definido con el vuelo Lidar de 2002 (en rosa) y el desplazamiento que requiere la sección establecida con el vuelo Lidar para encajar con la nivelación geométrica (en naranja).

**Figure 5.** New precise geometrical levelling in 2007 (green) of the stretch defined by the profile N-H08-H09 of the second cross section of Madre stream. Previous precise geometrical levelling in 1998 (blue). The same profile defined with the airborne Lidar in 2002 (pink) and the displacement needed to adjust it to the geometrical levelling (orange).



**Figura 6.** Nueva nivelación geométrica con precisión de 2007 (en verde) de los tramos definidos por los perfiles N-H89-H90 y N-H90-H91 en el extremo meridional del eje longitudinal del lucio del Membrillo. Anterior nivelación geométrica con precisión de 1996 (en azul). El mismo perfil definido con el vuelo Lidar de 2002 (en rosa) y el desplazamiento que requiere la sección establecida con el vuelo Lidar para encajar con la nivelación geométrica (en naranja)

**Figure 6.** New precise geometrical levelling in 2007 (green) of the stretches defined by the profile N-H89-H90 and N-H90-H91 of the southern extreme of the longitudinal axis of Membrillo pond. Previous precise geometrical levelling in 1996 (blue). The same profile defined with the airborne Lidar in 2002 (pink) and the displacement needed to adjust it to the geometrical levelling (orange).

marisma no lo permitían. Se apreció un ligero aumento de cota en los puntos próximos al hito-feno H09, siguiendo la tendencia a aterrarse que presentaban las lecturas de enrase observadas en los últimos años en dicho hito-feno; pero no de una magnitud suficiente como para asegurar que en el entorno de este hito se diera un aterramiento generalizado.

Por otro lado, no se apreciaron unos aterramientos significativos en el entorno del hi-

to-feno H08 y de la escala E04; a pesar de que dicha escala pasara de tener una lectura de 8,5 cm en 1998 a una lectura de 18,0 cm en 2007 (9,5 cm de aterramiento). La fiabilidad de los datos obtenidos con la nueva nivelación, avalados por el hecho de que el hito-feno H08 hubiera pasado de tener un enrase de 3,5 cm en 1998 a 4,0 cm en 2007, tan solo 0,5 cm de aterramiento, planteó la duda razonable de que la escala E04 hubiera sufrido un hundimiento.

c) En el lucio del Membrillo se efectuó una nueva nivelación geométrica con precisión en dos segmentos de su eje longitudinal, los definidos por los perfiles N-H89-H90 y N-H90-H91 (Figura 6). Se apreció en el entorno del hito-feno H90 que los puntos de su perfil presentaban una disminución de cota respecto del perfil levantado en 1996; lo que suponía una erosión generalizada en esta zona, aunque su magnitud no fuera muy importante. El hecho de que el hito-feno H90 presentase una tenden-

cia a descalzarse, que se venía observando a través de las lecturas de enrase de la solera de la marisma en el mismo, se ratificó con la información obtenida con la nueva nivelación geométrica.

Respecto al hito-feno H91, del que no se disponía de información desde el verano de 2004, se dio por seguro que había sido retirado de la marisma; pues la nueva nivelación geométrica con precisión del tramo N-H90-H91 aportó, en

**Figura 7.** Nueva nivelación geométrica con precisión de 2007 (en verde) del tramo definido por el perfil N-H69-H73 del extremo septentrional del eje del lucio de Vetallengua grande. Anterior nivelación geométrica con precisión de 1997 que abarca el perfil N-H69-H73-H74 (en azul). El mismo perfil definido con el vuelo Lidar de 2002 (en rosa) y el desplazamiento que requiere la sección establecida con el vuelo Lidar para encajar con la nivelación geométrica (en naranja).

**Figure 7.** New precise geometrical levelling in 2007 (green) of the stretch defined by the profile N-H69-H73 of the northern extreme of the axis of Vetallengua grande pond. Previous precise geometrical levelling in 1997 on the profile N-H69-H73-H74 (blue). The same profile defined with the airborne Lidar in 2002 (pink) and the displacement needed to adjust it to the geometrical levelling (orange).



**Figura 8.** Nueva nivelación geométrica con precisión de 2007 (en verde) de los tramos definidos por los perfiles N-H60-H61 en el lucio de Sanlúcar y N-H61-H62 en el lucio de Sevilla, ambos del mismo eje. Anterior nivelación geométrica con precisión de 1998 (en azul). El mismo perfil definido con el vuelo Lidar de 2002 (en rosa) y el desplazamiento que requiere la sección establecida con el vuelo Lidar para encajar con la nivelación geométrica (en naranja).

**Figure 8.** New precise geometrical levelling in 2007 (green) of the same axis defined by profiles N-H60-H61 in Sanlúcar pond and N-H61-H62 in Sevilla pond. Previous precise geometrical levelling in 1998 (blue). The same profile defined with the airborne Lidar in 2002 (pink) and the displacement needed to adjust it to the geometrical levelling (orange).



el punto de su previsible ubicación, un valor de la cota del terreno inferior al que le correspondería al clavo de anclaje del hito-feno en cuestión en la marisma; por lo que de existir el mismo, éste estaría claramente visible, descartándose por ello la posibilidad de que estuviera enterrado.

d) El hito-feno H69 se encuentra en el extremo norte del lucio de Vetallengua grande. En julio de 2007 se realizó una nueva nivelación geométrica con precisión del tramo más septentrional del eje de este lucio N-H69-H73. En el nuevo perfil no se apreciaron variaciones significativas en ninguna de sus partes respecto del anterior de 1997; por lo que la explicación de la tendencia a descalzarse del hito-feno H69 se asumió que se debía a un proceso de erosión local, que se venía detectando a través de los enrasos anuales de la solera de la marisma en el mismo, por encontrarse éste en el borde del lucio y presentar una pendiente del terreno más elevada que en otros puntos de su entorno.

e) El hito-feno H61 está situado en el eje común de los lucios de Sanlúcar y Sevilla, justo en la divisoria entre ambos lucios. En julio del 2007 se efectuó una nueva nivelación geométrica con precisión a los tramos definidos por el perfil N-H60-H61 (situado en el lucio de Sanlúcar) y por el perfil N-H61-H62 (ubicado en el lucio de Sevilla) Figura 8.

En el perfil completo de ambos tramos se aprecia una disminución de cotas en aquellas zonas en las que existen unos máximos relativos de elevación. Dado que el hito-feno H61 está situado en uno de estos máximos relativos, ésta puede ser la causa de la tendencia a descalzarse que presentó en el periodo analizado.

Las nuevas nivelaciones con precisión levantadas en el entorno de los elementos E03; H05; E04; H09; H90; H91; H69 y H61 (todos ellos con una línea de tendencia definida, fuera positiva o negativa) no mostraron variaciones importantes respecto de las nivelaciones geométricas con precisión realizadas entre 1995-99, salvo en las proximidades de dichos elementos. Evi-

dentemente se observó que en los hito-fenos situados en cotas más altas, coincidiendo con los extremos de los lucios, se producía un ligero proceso de erosión (como se detecta en las Figuras 6; 7 y 8 relacionadas con los hito-fenos H90 y H91; H67 y H61 respectivamente) y que en los hito-fenos situados en las cotas más bajas tenía lugar un ligero proceso de sedimentación. En el entorno de los elementos E03 y H05 ubicados en el paraje del lucio de las Yeguas se detectó una sedimentación importante pero muy localizada, que se atribuyó a la presencia del cono de sedimentación del arroyo del Partido aguas arriba del mismo y la posibilidad de que una parte de sus sedimentos fueran arrastrados por las crecidas del caño de La Madre. En cuanto a la sedimentación en el entorno del hito-feno H09, su explicación podría deberse a múltiples causas, pero su efecto no resultaba relevante.

En cualquier caso, el esfuerzo que exigía la realización de nuevas nivelaciones geométricas, no se correspondía con los resultados obtenidos; por lo que se planteó iniciar una nueva línea de trabajo, antes de continuar con nuevos levantamientos topográficos sobre el terreno.

Sin embargo, en el centro de la segunda sección transversal del caño de la Madre (paraje de Resolimán) se observó una fuerte discordancia entre el enrase efectuado en la escalilla del hito-feno H08 y en la base de la escala E04 situados muy próximos el uno del otro. Esta discordancia se comprobó también en otros parajes de la marisma, donde se encontraban próximos un hito-feno y una escala de medida de la inundación.

Por otro lado, las nuevas nivelaciones geométricas con precisión efectuadas en julio de 2007 descartaban, en una primera aproximación, que los hito-fenos experimentasen algún tipo de desplazamiento vertical en el terreno o, si se diera, que tuviera alguna significación; pues dicho desplazamiento sería proporcional a su peso y éste no parecía relevante en el caso de los hito-fenos; aunque podía serlo en el caso de las escalas. La nivelación efectuada en el tramo N-H08-H09

admitía la posibilidad de que la escala E04 hubiera experimentado un hundimiento; aunque este dato aislado tampoco era suficiente para generalizar dicho efecto a todas las escalas; porque, por ejemplo, en el caso de la escala E03 había quedado descartado su deslizamiento. Sin embargo, planteaba la conveniencia de realizar un análisis de la cuestión, aprovechando que se disponía de los enrase de la solera de la marisma del periodo 1995-2007, tanto en las escalillas de los hito-fenos como en la base de las escalas. Es lo que se comenta a continuación.

*Análisis de los resultados obtenidos de las mediciones del enrase del terreno, en las escalillas de los hito-fenos instalados en la marisma y en la base de las escalas de medida del nivel de su inundación, durante el periodo 1995-2007*

La Figura 9 muestra la población total de los enrase de la solera de la marisma tomados en las escalillas de los hito-fenos y en la base de

las escalas en el periodo 1995-2007. Se aprecia la existencia de una línea de tendencia (ajuste lineal), que se puede interpretar como la tendencia general que sigue la marisma, definido por un gradiente de 0,6205 mm/año (0,00017 cm/día).

Dicha tendencia tiene un gradiente sensiblemente menor que el que resulta para la población de mediciones realizadas exclusivamente en la base de las escalas para el mismo periodo, que se muestra en la Figura 10 y que presenta un gradiente de 6,8255 mm/año (0,00187 cm/día). Una razón a priori que pudiera justificar esta tendencia, es que las escalas se ubican en las cotas más bajas de la marisma y por tanto son más susceptibles de aterrarse.

Sin embargo, si se analiza de forma independiente los enrase de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos situados al pie de dichas escalas, de los que lógicamente cabría esperar la misma tendencia, el resultado es diferente, tal como se muestra en la Fi-

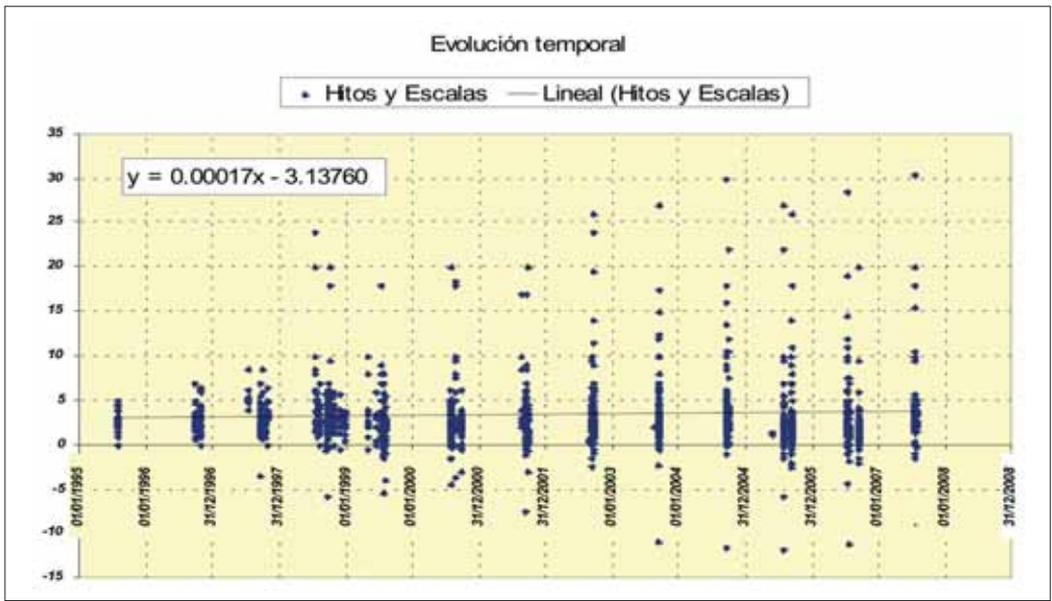


Figura 9. Línea de tendencia general de la marisma (ajuste lineal) de la población total de enrase de la solera de la marisma del PND en los elementos utilizados al efecto, escalillas de los hito-fenos y base de las escalas de registro de la inundación, en el periodo 1995-2007.

Figure 9. Trend line for the whole marsh (linear adjustment) of the total population of measures of the level of DNP marsh on landmarks and on main flood scales within the period 1995-2007.

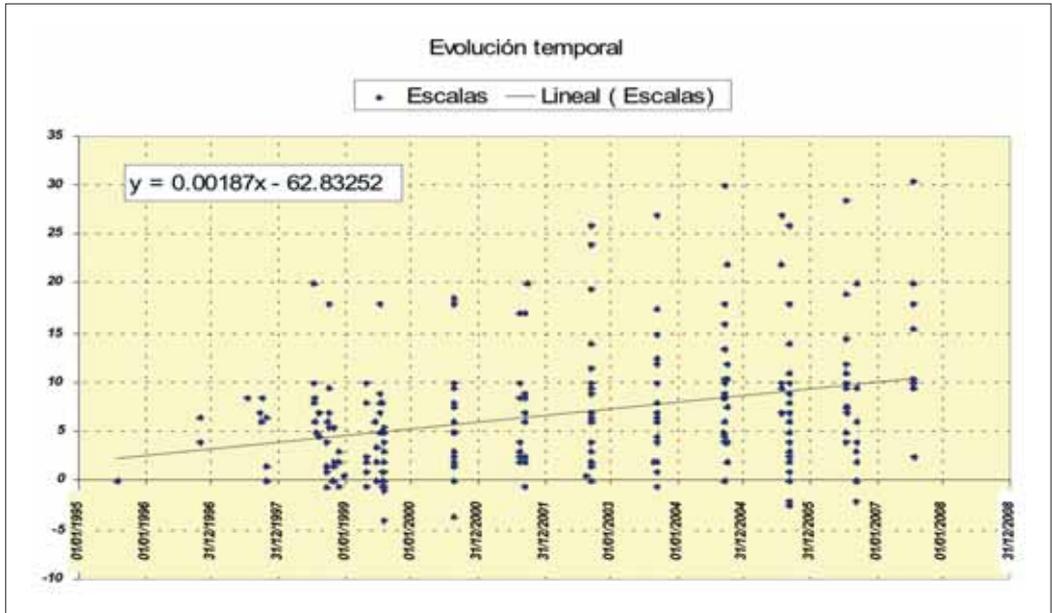


Figura 10. Línea de tendencia (ajuste lineal) del enrase de la solera de la marisma del PND en la base de las escalas, para la muestra total de mediciones del periodo 1995-2007.

Figure 10. Trend line (linear adjustment) of the level of the DNP marsh in the base of the main scales for the sample within the period 1995-2007.

gura 11, presentando un gradiente de 0,3650 mm/año (0,00010 cm/día).

Una hipótesis plausible que justifica dichas distorsiones, es que el propio peso de la estructura de las escalas cause su hundimiento. Esta hipótesis no excluye que en las áreas donde se ubican las escalas exista una mayor deposición de sedimentos, porque como se aprecia en la Figura 11, también para los enrase en las escalillas de los hito-fenos ubicados en dicha área el gradiente de la tendencia es positivo; aunque sensiblemente menor que para los enrase en las escalas. Sin embargo, contrasta con la tendencia general de la población total de enrase de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos, que se muestra en la Figura 12, que queda definida por -0,5840 mm/año (-0,00016 cm/día) y parece decantarse hacia el equilibrio o, en todo caso, hacia una ligerísima erosión en el perfil del terreno en su conjunto.

En realidad lo que parece que se está generando es una ligera erosión en los entornos de los hito-fenos ubicados en las zonas de mayores cotas, que parcialmente se contrarresta con la deposición en las áreas de menor altitud. Pero que en su conjunto las variaciones resultan cuantitativamente compensadas y en la práctica poco significativas.

En lo que se refiere a las mediciones de enrase de la solera de la marisma en las bases de las escalas, se observó que las situadas en la zona norte y oeste de la marisma del PND resultaban afectadas por el problema de su hundimiento (a excepción de la escala E03, en la que se observó un efecto de aterramiento, pero sin hundimiento); mientras que en las escalas situadas al sureste de la marisma, en especial las ubicadas en el tramo final del caño Travieso y en el entorno de los lucios de El Rey, Los Ánsares, Sanlúcar y Sevilla (E23; E24; E25; E26; E28 y E29), no se observó que existiera un claro efecto de hundimiento.

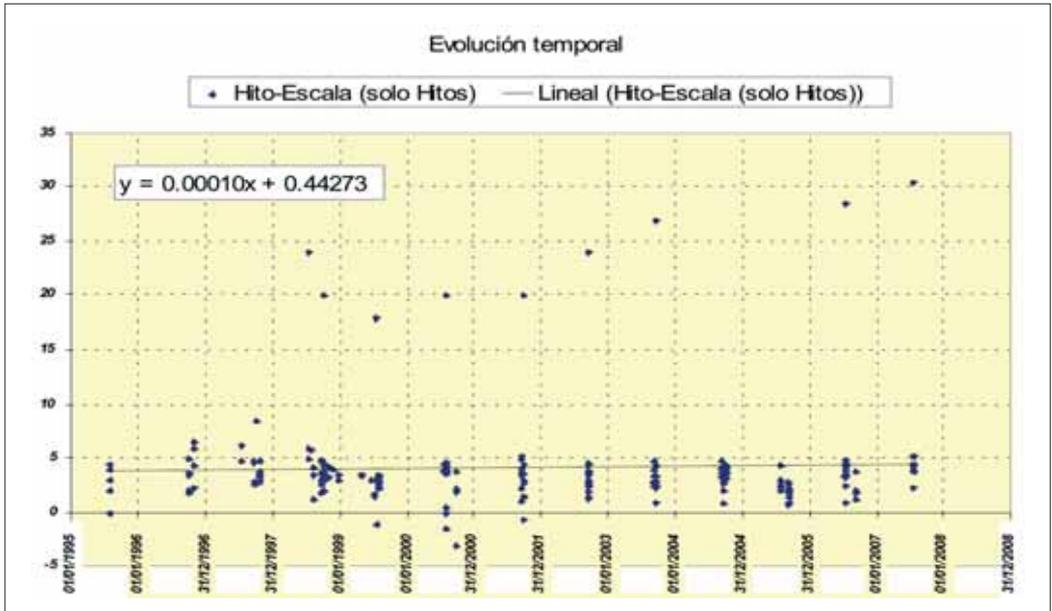


Figura 11. Línea de tendencia (ajuste lineal) del enrase de la solera de la marisma del PND en las escalillas de los hito-fenos situados al pie de las escalas, para la muestra total de mediciones realizada en el periodo 1995-2007.

Figure 11. Trend line (linear adjustment) of the level of the DNP marsh in the scales of the landmarks placed next to the main scales within the period 1995-2007.

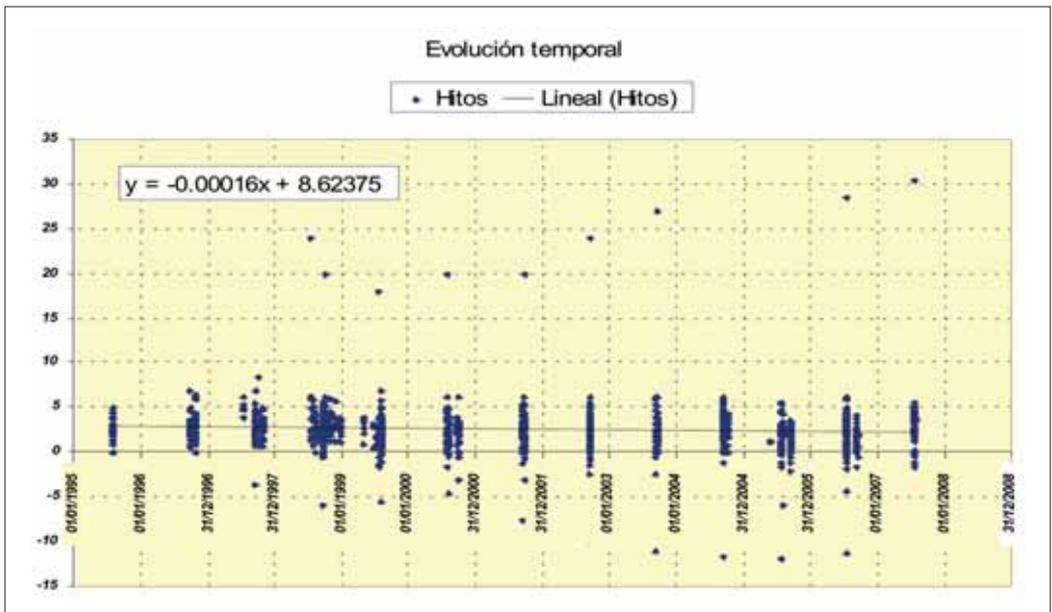


Figura 12. Línea de tendencia (ajuste lineal) del enrase de la solera de la marisma del PND en las escalillas del conjunto de los hito-fenos instalados en la misma, para la muestra total de mediciones efectuada en el periodo 1995-2007.

Figure 12. Trend line (linear adjustment) of the level of the DNP marsh in the scale of the landmarks for the sample in the period 1995-2007.

*Utilización de un GPS Diferencial (DGPS) para reposicionar los puntos de la Red de Nivelación Geométrica de 1995-99, especialmente en los identificables directamente en la marisma del PND, por estar referidos a algún elemento material instalado en la misma*

Inicialmente las coordenadas planimétricas ( $x, y$ ) de los elementos que constituyen la Red de Nivelación Geométrica y que, además, permiten el seguimiento de la sedimentación de la marisma del PND, fueron obtenidas con un GPS convencional (para la serie de hito-fenos HXX las coordenadas definitivas se adoptaron en 1999 y para la serie JXX en 2006 y, en general, para casi todos los restantes elementos como compuertas, piezómetros, etc. sus coordenadas se definieron con anterioridad a 1999), por lo que su precisión oscilaba varios metros. Se siguió un criterio muy diferente con la coordenada altimétrica  $z$ , que se obtuvo mediante nivelación geométrica, tratando de precisar el milímetro en las operaciones de campo. Esta situación quedaba justificada, porque la coordenada  $z$  es la más relacionada con la sedimentación en la marisma. La falta de precisión en la planimetría, aunque en la mayoría de los casos se asumía perfectamente, algunas veces presentaba un problema importante en la posterior localización de los hito-fenos.

El avance de la tecnología GPS ha permitido definir las coordenadas ( $x, y$ ) con precisión centimétrica; por lo que a partir del 10-07-2008 se inició la labor de posicionar nuevamente con dicha precisión los elementos de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND. Para ello se utilizó un equipo DGPS Leica de la serie GPS1200 capaz de resolver el objetivo planteado. Este equipo se fundamenta en que los errores de señal producidos por la red de satélites, afectan de forma muy similar a receptores próximos entre sí; por lo que un receptor de referencia fijo en tierra con posición conocida, puede calcular estos errores para ser corregidos en un segundo receptor del equipo. El instrumental está formado por los dispositivos GX1230 GG (estación de referencia en tiempo real) y ATX1230 GG (equipo móvil) y

está equipado con receptores geodésicos de doble frecuencia; canales 14 L1 + 14 L2 GPS y 12 L1 + 12 L2 GLONASS, y mitigación de multicamino en código y en fase. El equipo está preparado para la corrección de la señal cinemática en tiempo real (RTK) por medio de comunicación vía radio o GSM/GPRS entre receptores; corrección de señal RTK con red de bases fija vía GSM/GPRS con utilización de un solo dispositivo y Software Leica Geo Office 6.0 con opción de corrección de señal mediante post-proceso.

Con dicho equipo DGPS Leica se definieron de nuevo las coordenadas ( $x, y$ ) de los elementos de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND con precisión de centímetros; pero para la coordenada altimétrica  $z$  se mantuvo el valor que se disponía, obtenido con nivelación geométrica, por tanto ajustado al geoide, y efectuado con precisión de milímetros en el transcurso de las operaciones de campo.

Los trabajos de reposicionamiento ( $x, y$ ) de los elementos de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND se realizaron simultáneamente con las mediciones de enrase de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos y en la base de las escalas instalados en ella, durante los meses de julio y septiembre de los años 2008 y 2009. Para ello la estación de referencia en tiempo real GX1230 GG se colocó en distintos puntos base (vértice geodésico de Caracoles; hito-fenos previamente reposicionados, como el H-29 situado en el caño Travieso; el tejado del centro de visitantes José Antonio Valverde en el paraje de Cerrado Garrido o en la terraza de la Casa de Brenes).

De acuerdo con el procedimiento establecido, los puntos medidos con el ATX1230 GG (equipo móvil), fueron corregidos en tiempo real (RTK) mediante comunicación vía radio con el dispositivo GX1230 GG, situado en un punto conocido (llamado base), obteniéndose unas coordenadas de los puntos en primera aproximación. Para ello se asignó una posición a dicha base de forma temporal, La posición definitiva de estas bases temporales se

obtuvo mediante un tratamiento en post-proceso de las observaciones tomadas por la misma durante el tiempo de trabajo (entre 2 y 11 horas). Para realizar esta operación, teniendo en cuenta la cercanía, continuidad y disponibilidad de datos RINEX, se optó por utilizar la base GPS permanente de Huelva (HULV) de la R. A. P. (Red Andaluza de Posicionamiento) de la Junta de Andalucía, en lugar de la que se pensaba utilizar inicialmente situada en Lebrija, debido a la existencia en ésta de lapsus en sus registros que afectaban a algunos días de trabajo. La corrección de la posición de cada base temporal se realizó de forma diaria, utilizando esta información como referencia para todos los puntos medidos durante ese día concreto, y así sucesivamente día a día. De esta forma las lecturas realizadas con el equipo móvil en un día determinado, estaban referenciadas con la base de Huelva, utilizando datos de ese mismo día.

Con este procedimiento nunca se daban por buenas las coordenadas de una base temporal, obtenidas un día diferente al que se estaba realizando el trabajo; evitando así errores debidos a posibles desplazamientos de los puntos elegidos como bases temporales. Solo hubo una excepción, un día que no funcionó la corrección en tiempo real vía radio y la posición de los puntos se obtuvo post-procesando directamente con la base de Huelva (HULV).

Además, aprovechando las lecturas altimétricas proporcionadas por el DGPS Leica, referidas al elipsoide WGS84, se procedió a la estimación de la ondulación del geoides, con el fin de corregir estas lecturas en aquellos puntos donde no se disponía de la  $z$  ortométrica precedente de la nivelación.

## **Adopción de nuevos criterios para enrasar la solera de marisma del PND en los elementos de medida establecidos al efecto**

Desde julio de 1995 hasta el último verano de 2012, aprovechando el periodo estival en

el que la marisma permanece seca tras su inundación del otoño-invierno anterior, se enrasó su solera en los dispositivos de medida establecidos al efecto, escalillas de los hito-fenos y base de las primitivas escalas, siguiendo el procedimiento inicial, descrito por MINTEGUI & ROBREDO (2001) en el libro «Bases para la elaboración de un modelo del terreno de la marisma del PND», pp. 29 y 32; también recogido en dos artículos anteriores aparecidos en esta revista ROBREDO *et al* (2007; 2013). Sus resultados para los diferentes periodos analizados aparecen en el libro (1995-99) y en los artículos referidos (1995-2006) y (2007-12).

Aunque en ocasiones el enrase de la solera de la marisma fuera marcadamente diferente de una cara lateral a otra del hito-feno, esta cuestión no se tuvo en cuenta, se siguió midiendo el enrase en la cara del hito-feno donde se encontraba la escalilla (o hubiera estado anteriormente); aunque se completase esta información con los comentarios adicionales al respecto, por si pudieran ser de interés más adelante. Esta forma de operar tenía presente que el dato obtenido se asociaba con el inicio o el final de una nivelación geométrica en dicho elemento; pues en este contexto se incorporaron las escalillas a los hito-fenos; para obtener información de las variaciones que se fueran observando del enrase de dicha escalilla con el nivel del terreno; en especial con respecto de la medida anotada al enrasarlo por primera vez con la solera de la marisma, tras instalar el hito-feno en ella e iniciar la nivelación geométrica correspondiente.

Con el tiempo se fue observando que los propios hito-fenos podían distorsionar ligeramente el enrase de la solera de la marisma en sus escalillas, al adoptar el terreno una ligera pendiente ascendente en torno a ellos. Su valor era muy pequeño y se debía al proceso de desecación de la marisma. En el verano de 2010, mientras se realizaban en ella las mediciones tradicionales, se planteó estimar dicha distorsión efectuando una nueva medida de enrase la solera de la marisma a una distancia más alejada del hito-feno, lo que en aquel

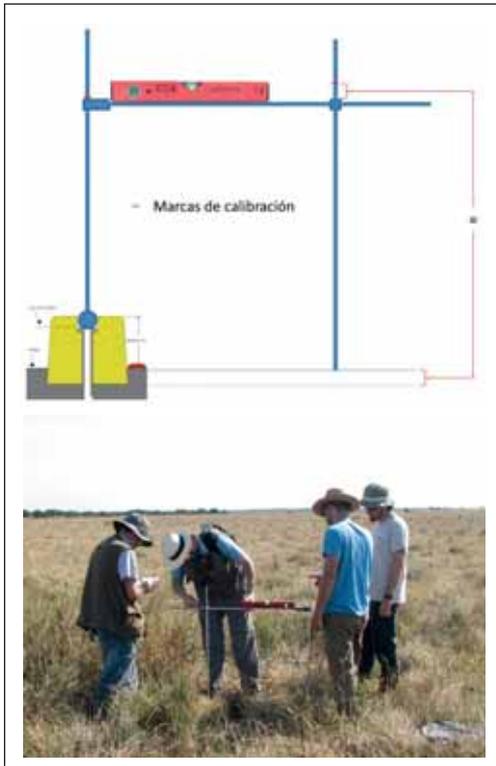


Figura 13. Imagen superior: Esquema del instrumento creado para medir, a distancia del hito-feno, el enrase de la solera de la marisma en las caras laterales del mismo. Imagen inferior: un instante durante las operaciones de medida.

Figure 13. Top image: sketch of the instrument made to measure the level of the marsh in relation to the faces of the landmark at a certain distance. Bottom image: measure works.

momento se materializó utilizando la hoja de un cuchillo de campo. Los resultados de estas nuevas mediciones, que no se llevaron a cabo en todos los hito-fenos, se muestran en la Tabla 3 en el apartado siguiente.

Para el verano de 2011 se planificó realizar dos tipos de enrase de la solera de la marisma en los hito-fenos instalados en ella: *a)* manteniendo el procedimiento inicial y *b)* alejando la medida de enrase de la solera de la marisma del punto de ubicación del hito-feno, aunque continuase dependiendo de su posición; en este procedimiento las medidas se tomaron sobre cada una de las cuatro caras laterales del hito-feno y no solamente sobre la que se en-

cuentra la escalilla. Para aplicar el nuevo procedimiento se utilizó un instrumento construido al efecto de forma rectangular, formado por dos ejes verticales unidos por un eje transversal que forma el lado superior del rectángulo y abierto por el lado inferior (Figura 13). Uno de los ejes verticales termina en una pequeña esfera, que encaja perfectamente en el círculo central del hito-feno, donde se apoya sobre la cabeza del clavo de sujeción del hito-feno en el terreno; el otro eje se apoya directamente sobre la solera de la marisma. Sobre el eje transversal se coloca un nivel de burbuja para asegurarse que permanece perfectamente horizontal en el instante de tomar la medida.

Las barras verticales están marcadas de manera que para una lectura 0, manteniendo la barra transversal perfectamente horizontal, implique que la superficie de la marisma está enrasada con la base del hito-feno (aterramiento 0). La diferencia de lectura positiva o negativa sobre dicha marca define respectivamente el nivel de aterramiento o descalce del hito-feno en cuestión en la dirección adoptada para la medida. El instrumento completo se muestra en la imagen superior de la Figura 13, mientras que en la inferior se detalla un instante de las operaciones de medida. La lectura del enrase con la solera se realiza a una distancia del hito-feno variable pero corta, asegurándose que en la posición elegida la solera no se encuentre alterada.

El procedimiento seguido en las mediciones fue el siguiente: 1) se tomó la primera medida sobre la cara del hito-feno donde estaba o había estado ubicada la escalilla; 2) a continuación se tomaron las medidas sobre las tres caras restantes del hito-feno, siguiendo la dirección contraria a las agujas del reloj. Como la mayoría de las escalillas se colocaron en la cara norte de los hito-fenos, la primera medida obtenida con el nuevo procedimiento correspondía a la cara norte y las restantes medidas a las caras oeste, sur y este respectivamente. Los resultados obtenidos utilizando este nuevo procedimiento se adjuntan en la Tabla 4 del apartado siguiente y abren una nueva vía para conocer el comportamiento de la solera de la marisma.

## RESULTADOS

### Actualización de la estructura de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma PND

Los resultados obtenidos de todas las operaciones de actualización de la estructura de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma PND utilizando el equipo DGPS Leica, serie GPS1200, se muestran en la Tabla 2, en la que las diferentes columnas representan los conceptos siguientes:

Columna 1: Elemento

Columna 2: Coordenada *x* del elemento reposicionado en UTM, USO 29, ED 50

Columna 3: Coordenada *y* del elemento reposicionado en UTM, USO 29, ED 50

Columna 4: Coordenada *z* ortométrica del elemento; obtenida por nivelación geométrica utilizando de referencia el clavo JPS-NT-106 de cota conocida y comprobada con la cota del vértice geodésico VG3.

Columnas 5: Longitud del elemento reposicionado en el elipsoide WGS84.

Columnas 6: Latitud del elemento reposicionado en el elipsoide WGS84

Columna 7: representa la altitud del elemento en el elipsoide WGS84

Columna 8: la ondulación del geode con respecto al elipsoide WGS84 (distancia entre la *z* ortométrica y la altitud del punto respecto al elipsoide en cuestión) en verde en la tabla.

En la Tabla 2 no presentan ninguna señal distintiva los elementos cuyas coordenadas planimétricas

CÓDIGO	X-UTM-29-ED50	Y-UTM-29-ED50	Z-ORTOM,	LONGITUD WGS84	LATITUD WGS84	ALT, WGS84	ONDULACIÓN
VG1	732745,2203	4085339,3545	21,3100	-6,38983340	36,88347378	68,3604	47,0504
VG2	730036,6726	4109368,4132	4,2407	-6,41287088	37,10052423	53,2460	49,0053
VG3	735753,3196	4083854,9636	4,0180	-6,35657395	36,86936071	50,8329	46,8149
VG4	741368,9697	4106344,1216	6,0690	-6,28645105	37,07044247	54,1060	48,0370
H01	722767,8938	4111989,4444	2,3906	-6,49381335	37,12588464	52,0442	49,6536
H02	724515,5252	4111832,4878	3,1461	-6,47420545	37,12405364	52,4482	49,3021
H03	725265,7790	4111554,1297	3,1275	-6,46585158	37,12136669	52,3550	49,2275
H04	727300,0675	4109288,7432	1,6805	-6,44366113	37,10047470	50,7418	49,0613
H05	727648,4071	4109648,7479	1,5395	-6,43963571	37,10363204	50,5458	49,0063
H06	727996,6003	4110009,8201	1,8090	-6,43561128	37,10679889	50,9006	49,0916
H07	727807,4289	4106421,4494	1,6198	-6,43882694	37,07453086	50,3590	48,7392
H08	728290,0303	4106295,6547	1,3983	-6,43344138	37,07328070	50,1452	48,7469
H09	728775,2082	4106165,9271	1,5228	-6,42802826	37,07199425	50,2249	48,7021
H10	732294,9609	4104309,5385	1,4231	-6,38904704	37,05441250	49,8194	48,3963
H11	732776,6893	4104440,7549	1,3656	-6,38359411	37,05547472	49,7423	48,3767
H12	733258,3019	4104570,8853	1,3651	-6,37814269	37,05652694	49,6717	48,3066
H13	733743,8676	4104702,2755	1,9176	-6,37264632	37,05758927	50,2262	48,3086
H14	735772,1188	4105312,7455	1,3935	-6,34966668	37,06257891	49,6200	48,2265
H15	735899,7704	4105796,2922	1,2365	-6,34808065	37,06690098	49,5118	48,2753
H16	736027,6568	4106279,7375	1,5235	-6,34649182	37,07122203	49,8360	48,3125
H17	736425,6267	4101580,1924	1,2016	-6,34349652	37,02880432	49,1855	47,9839

(Continúa en página siguiente)

CÓDIGO	X-UTM-29-ED50	Y-UTM-29-ED50	Z-ORTOM,	LONGITUD WGS84	LATITUD WGS84	ALT, WGS84	ONDULACIÓN
H18	736682,6092	4101149,5469	1,1421	-6,34074566	37,02486181	49,0578	47,9157
H19	736939,4850	4100718,5613	1,0501	-6,33799638	37,02091621	48,8856	47,8355
H20	737195,2958	4100289,1372	1,1361	-6,33525885	37,01698488	48,9560	47,8199
H21	737451,4041	4099858,5827	1,2561	-6,33251860	37,01304325	49,0040	47,7479
H22	737553,7419	4099686,7851	1,5856	-6,33142363	37,01147043	49,2782	47,6926
H23	734125,3068	4100195,1206	1,4269	-6,36976234	37,01690814	49,4047	47,9778
H24	734551,8525	4100455,6201	1,1549	-6,36489136	37,01914752	49,1664	48,0115
H25	734977,8503	4100717,3310	1,2429	-6,36002588	37,02139774	49,2410	47,9981
H26	736990,5261	4099077,8170	1,3054	-6,33793909	37,00612908	49,0165	47,7111
H27	737120,2727	4098753,3067	1,2144	-6,33658439	37,00317427	48,8972	47,6828
H28	737238,5372	4098457,1836	1,2979	-6,33534976	37,00047796	48,9480	47,6501
H29	739369,1199	4100616,8265	1,2923	-6,31074470	37,01938436	48,9750	47,6827
H30	728914,0853	4097137,8790	1,2654	-6,42921194	36,99066069	49,3981	48,1327
H31	729386,0828	4097302,9417	1,1754	-6,42386304	36,99203214	49,2911	48,1157
H32	729862,6120	4097469,2035	1,0694	-6,41846271	36,99341304	49,0592	47,9898
H33	738230,7576	4097119,9162	1,5449	-6,32463264	36,98818563	49,0851	47,5401
H34	738597,4197	4096961,0643	1,1609	-6,32056712	36,98666232	48,7124	47,5515
H35	738966,2088	4096804,4765	1,7554	-6,31647718	36,98515873	49,2931	47,5377
H36	735894,3411	4092640,0297	1,2943	-6,35225806	36,94843401	48,7586	47,4642
H37	736394,2004	4092591,4734	1,2768	-6,34666517	36,94787148	48,7037	47,4268
H38	736891,0638	4092541,0822	1,0963	-6,34110657	36,94729292	48,4750	47,3786
H39	737388,5109	4092490,4074	1,1058	-6,33554161	36,94671140	48,4447	47,3388
H40	737881,3963	4092416,9310	1,2288	-6,33003510	36,94592545	48,5512	47,3223
H41	738171,1605	4091512,6819	0,9014	-6,32706905	36,93770981	48,1933	47,2919
H42	735547,6271	4090021,4372	1,2624	-6,35696322	36,92494070	48,4362	47,1738
H43	736015,3524	4090199,2307	1,1214	-6,35166183	36,92642474	48,2875	47,1660
H44	736482,2570	4090375,2350	1,0669	-6,34637002	36,92789263	48,2241	47,1571
H45	736950,5617	4090550,5410	1,2109	-6,34106252	36,92935364	48,3850	47,1741
H46	737418,0609	4090727,7575	0,9434	-6,33576328	36,93083181	48,1445	47,2011
H47	737892,4464	4090888,2649	0,8679	-6,33039185	36,93215753	48,0776	47,2096
H48	738365,6936	4091051,6817	0,8784	-6,32503210	36,93350949	48,0660	47,1875
H49	738839,3839	4091213,2315	0,8694	-6,31966780	36,93484428	48,0656	47,1961
H50	739307,7065	4091390,9791	0,8779	-6,31435841	36,93632603	48,0508	47,1728
H51	739777,1051	4091565,9909	0,9474	-6,30903762	36,93778263	48,1185	47,1711
H52	740276,4507	4091604,9566	1,0034	-6,30342392	36,93800632	48,1452	47,1418
H53	740776,2509	4091639,1023	1,0834	-6,29780664	36,93818623	48,2240	47,1405
H54	741276,6162	4091668,0540	1,1699	-6,29218467	36,93831896	48,3100	47,1400
H55	741776,9147	4091692,8833	1,5009	-6,28656476	36,93841432	48,6220	47,1211
H56	738733,1410	4090462,8872	1,0744	-6,32109623	36,92811463	48,1505	47,0760
H57	738926,0500	4090000,7772	1,4344	-6,31907841	36,92390465	48,4350	47,0005
H58	739395,8039	4090174,6187	1,2319	-6,31375497	36,92535087	48,1985	46,9665

CÓDIGO	X-UTM-29-ED50	Y-UTM-29-ED50	Z-ORTOM,	LONGITUD WGS84	LATITUD WGS84	ALT, WGS84	ONDULACIÓN
H59	739868,5503	4090339,1335	1,1829	-6,30840072	36,92671210	48,1803	46,9973
H60	740339,7438	4090507,6822	1,1664	-6,30306244	36,92810980	48,1471	46,9807
H61	740831,5608	4090602,1633	1,3144	-6,29751623	36,92883505	48,2527	46,9383
H62	741323,6327	4090699,2693	1,3129	-6,29196623	36,92958360	48,2590	46,9461
H63	741822,3120	4090767,8752	1,2899	-6,28635114	36,93007357	48,2285	46,9386
H64	742218,0264	4090828,0842	1,5374	-6,28189354	36,93051413	48,4632	46,9258
H65	739117,4317	4089538,4573	1,3919	-6,31707799	36,91969313	48,3480	46,9560
H66	738659,3950	4089119,5461	1,4134	-6,32234681	36,91603701	48,3631	46,9496
H67	739307,9782	4089075,9622	1,3719	-6,31508721	36,91548022	48,2939	46,9219
H68	739502,5708	4088614,7961	1,6584	-6,31305084	36,91127823	48,5661	46,9076
H69	733918,9596	4089294,1745	1,4302	-6,37545510	36,91879714	48,6066	47,1764
H70	732996,0000	4087633,0000	2,7842				
H71	733135,4904	4088119,0144	1,1007	-6,38460361	36,90840871	48,2456	47,1449
H72	733278,9474	4088599,3662	1,1657	-6,38284700	36,91269886	48,2040	47,0383
H73	733887,7278	4088934,6723	0,9912	-6,37591640	36,91556756	48,1445	47,1533
H74	733846,8789	4088435,3590	1,0467	-6,37652866	36,91108135	48,1496	47,1029
H75	733804,7377	4087936,8267	1,0617	-6,37715509	36,90660248	48,1468	47,0851
H76	734581,2619	4086720,6081	1,4060	-6,36882354	36,89545809		
H76B	734581,1317	4086720,6543	1,4060	-6,36882552	36,89545813	48,2610	46,8550
H77	734376,0565	4086333,1850	1,1195	-6,37124454	36,89201990	48,0533	46,9338
H78	734143,0593	4085892,0141	1,0690	-6,37399295	36,88810495	48,0016	46,9326
H79	733910,3581	4085450,9515	1,0225	-6,37673772	36,88419083	47,9530	46,9305
H80	733607,0486	4084876,9703	0,9620	-6,38031461	36,87909714	47,9522	46,9902
H81	732957,9400	4085226,5716	2,9340	-6,38748342	36,88240569	48,3810	45,4470
H82	733166,1871	4085114,4792	1,0300	-6,38518343	36,88134489	48,0636	47,0336
H83	734047,0096	4084639,8789	1,0595	-6,37545605	36,87685319	47,9803	46,9208
H84	734487,0896	4084402,8386	2,8690	-6,37059643	36,87460948	49,7661	46,8971
H85	733847,3885	4084437,3418	1,0305	-6,37775603	36,87507876	47,9861	46,9556
H86	734087,5177	4083998,1074	1,1355	-6,37519994	36,87106394	48,0733	46,9378
H87	734327,1872	4083558,5212	1,2260	-6,37264938	36,86704601	48,1089	46,8829
H88	734566,9015	4083118,9949	1,3735	-6,37009855	36,86302857	48,1681	46,7946
H89	734806,5133	4082679,3543	1,6040	-6,36754917	36,85901007	48,3935	46,7895
H90	735046,0698	4082239,5728	1,7325	-6,36500070	36,85499027	48,4695	46,7370
H91	735167,0000	4082022,0000	1,8295	-6,36372576	36,85298955		
H91B	735165,8916	4082020,7039	1,8295	-6,36372576	36,85298955	48,6151	46,7856
H92	733143,8391	4091139,4038	1,5400	-6,38357990	36,93560551	49,0197	47,4797
H93	733596,9302	4091182,4427	1,2349	-6,37848398	36,93588089	48,6556	47,4206
H94	734040,8773	4091237,8597	1,1934	-6,37348678	36,93626978	48,6258	47,4324
H95	734534,4263	4091297,8297	1,3389	-6,36793171	36,93668713	48,7448	47,4058
H96	733408,1072	4089075,9162	1,0972	-6,38125169	36,91695828	48,3277	47,2305
H97	741990,8624	4091274,7412	1,2964	-6,28429860	36,93459432	48,2732	46,9768

(Continúa en página siguiente)

CÓDIGO	X-UTM-29-ED50	Y-UTM-29-ED50	Z-ORTOM,	LONGITUD WGS84	LATITUD WGS84	ALT, WGS84	ONDULACIÓN
H98	732802,0000	4099417,0000	2,2024				
H99	731412,6918	4101438,7866	1,8343	-6,39984223	37,02877930	50,0999	48,2656
J01	737373,2482	4100973,1190	1,0986	-6,33304510	37,02309891	48,9773	47,8787
J02	737889,6357	4101277,8932	2,0311	-6,32714978	37,02571265	49,9178	47,8867
J03	733281,6805	4102128,4532	1,7151	-6,37863718	37,03452738	49,9375	48,2224
J04	733750,2692	4102301,7426	1,1521	-6,37332010	37,03597131	49,3509	48,1988
J05	734220,5911	4102475,6585	1,1391	-6,36798318	37,03742021	49,3209	48,1818
J06	734690,5679	4102649,6749	1,7211	-6,36264991	37,03886985	49,8932	48,1721
J07	739031,3109	4099451,5585	1,5066	-6,31490765	37,00897776	49,1338	47,6271
J08	739528,5274	4099505,6284	1,1166	-6,30930781	37,00933807	48,7225	47,6058
J09	740026,0297	4099561,6096	1,6131	-6,30370411	37,00971524	49,2159	47,6028
J10	725880,3923	4117558,3729	16,6798	-6,45712832	37,17528842	66,4541	49,7743
J11	739866,9547	4101624,3573	1,2219	-6,30483355	37,02832958	49,1387	47,9168
J12	739535,4200	4102005,3914	1,7229	-6,30843571	37,03184514	49,6662	47,9433
J13	740195,4053	4101246,6681	1,6414	-6,30126529	37,02484482	49,4902	47,8488
J14	740955,1111	4103508,0650	1,4107	-6,29201008	37,04501245	49,3622	47,9515
J15	740457,6492	4103570,0790	1,8157	-6,29757825	37,04569838	49,7287	47,9129
J16	741448,9682	4103428,2438	2,1272	-6,28648823	37,04416684	50,0507	47,9235
J17	740532,8153	4105556,9381	1,4868	-6,29609856	37,06356929	49,5082	48,0214
J18	740062,1282	4105649,3685	2,2793	-6,30135758	37,06452211	50,2755	47,9962
J19	741022,0614	4105458,0861	2,2858	-6,29063323	37,06255365	50,2217	47,9359
J20	741925,1790	4105745,7363	1,4339	-6,28039372	37,06491125	49,4718	48,0379
J21	742379,0968	4105965,6604	2,0954	-6,27522270	37,06677430	50,0835	47,9881
J22	741473,0454	4105530,8309	2,2624	-6,28554283	37,06309269	50,2669	48,0045
J23	730149,2880	4108701,0567	1,4987	-6,41180945	37,09448702	50,3900	48,8913
J24	729868,0690	4109889,6682	1,6847	-6,41460668	37,10525953	50,6509	48,9662
J25	730350,0300	4108746,6100	1,4967				
J26	729621,7739	4112005,1084	2,2674	-6,41672806	37,12436954	51,4099	49,1425
E01	722750,0000	4112000,0000	1,4266				
E02	722823,3900	4111768,0600	1,5466				
E03	727648,1525	4109649,1020	1,4525	-6,43963846	37,10363529	50,4014	48,9489
E04	728290,4096	4106295,5573	1,3033	-6,43343715	37,07327973	49,9000	48,5967
E05	731165,4158	4106429,8915	1,3599	-6,40108588	37,07378517	49,9016	48,5417
E06	732459,0000	4106766,0000	X				
E07	729330,0000	4102747,0000	1,3568				
E08	729385,6473	4097302,7426	1,1389	-6,42386799	36,99203046	49,1439	48,0050
E09	731282,7447	4094363,6499	1,1970	-6,40347105	36,96509897	49,4908	48,2938
E10	733593,7444	4091219,6231	1,1209	-6,37850824	36,93621649	48,5209	47,4000
E11	732962,9749	4104490,9379	1,1286	-6,38148559	37,05588039	49,4277	48,2990
E12	734551,8018	4100455,3247	1,0439	-6,36489202	37,01914487	48,9885	47,9446

CÓDIGO	X-UTM-29-ED50	Y-UTM-29-ED50	Z-ORTOM,	LONGITUD WGS84	LATITUD WGS84	ALT, WGS84	ONDULACIÓN
E13	735241,0000	4095763,0000	0,9785				
E14	729968,2596	4098083,2746	1,0377	-6,41708945	36,99891705	49,1291	48,0914
E15	733530,0000	4095535,0000	0,8436				
E16	733879,0000	4092280,0000	1,2509				
E17	736341,0736	4106252,8203	1,1205	-6,34297832	37,07090074	49,4990	48,3785
E18	736445,0908	4101398,4329	1,0461	-6,34333498	37,02716274	50,0645	49,0184
E19	X	X	X				
E20	741429,4839	4100610,6715	1,0681	-6,28761040	37,01880184	48,7386	47,6705
E21	739368,7874	4100616,8843	1,2323	-6,31074842	37,01938496	48,8030	47,5707
E22	738398,4107	4096090,1108	0,9333	-6,32307599	36,97887023	48,4781	47,5448
E23	736514,1946	4094925,8848	1,0671	-6,34458840	36,96886215	48,6220	47,5549
E24	737677,2746	4093866,4715	0,8141	-6,33186938	36,95902959	48,2129	47,3988
E25	737378,3784	4092147,6841	0,9418	-6,33576287	36,94362783	48,2656	47,3237
E26	741514,0101	4092305,8392	1,1945	-6,28931812	36,94400100	48,3640	47,1695
E27	738229,7962	4091400,9612	0,8399	-6,32644648	36,93668899	48,0502	47,2103
E28	736259,2571	4089979,1110	0,9674	-6,34899488	36,92438151	48,1324	47,1650
E29	740239,6946	4090555,9742	1,1089	-6,30416925	36,92857015	48,6071	47,4982
E30	732280,0000	4090084,0000	0,9780				
E31	733206,5560	4089570,0177	0,7121	-6,38335992	36,92145756	48,0317	47,3195
E32	733491,5085	4085219,2265	0,9195	-6,38150442	36,88220778	47,8951	46,9756
P01	735464,3762	4092405,8214	2,0955	-6,35715492	36,94643257	49,5223	47,4268
P02	730767,5758	4095726,3368	3,2785	-6,40883606	36,97749663	51,1798	47,9012
P03	730792,3688	4095755,7879	2,8367	-6,40854878	36,97775577	50,7191	Estimada
T01	723699,9300	4112288,7400	3,1216				
DZ00A	740432,4602	4105516,0768	1,6740	-6,29723919	37,06322709	49,7175	Estimada
DZ00B	740433,4711	4105515,8097	1,6231	-6,29722792	37,06322443	49,6665	Estimada
DZ00C	740433,1929	4105516,8452	1,6738	-6,29723071	37,06323382	49,6398	47,9660
DZ04A	728288,5994	4106301,8616	1,3549	-6,43345558	37,07333694	50,1065	Estimada
DZ04B	728291,0612	4106302,1358	1,3378	-6,43342783	37,07333881	50,0893	Estimada
DZ04C	728290,9922	4106300,8637	1,3100	-6,43342899	37,07332737	50,0614	Estimada
DZ04D	728286,6692	4106299,6117	6,0984	-6,43347795	37,07331715	54,8499	Estimada
DZ10A	733600,3805	4091219,0583	1,4106	-6,37843397	36,93620976	48,8151	Estimada
DZ27A	738262,0981	4091362,9081	3,7846	-6,32609612	36,93633817	50,9823	Estimada
DZ27B	738262,7670	4091364,0029	3,6376	-6,32608827	36,93634786	50,8354	Estimada
DZ27C	738263,3248	4091362,6816	3,7902	-6,32608243	36,93633582	50,9878	Estimada
DZ28A	736257,9520	4089984,8654	1,0585	-6,34900772	36,92443366	48,2281	Estimada
DZ31A	733210,2028	4089576,3992	0,9045	-6,38331705	36,92151413	48,1846	Estimada
C01	736262,6148	4086721,2858	3,0008	-6,34997321	36,89504444	49,9703	46,9695
C02	737472,9321	4087797,0488	3,3016	-6,33606683	36,90442772	50,4033	47,1017
C03	735996,0000	4089306,0000	X				

(Continúa en página siguiente)

CÓDIGO	X-UTM-29-ED50	Y-UTM-29-ED50	Z-ORTOM,	LONGITUD WGS84	LATITUD WGS84	ALT, WGS84	ONDULACIÓN
<b>C04</b>	738363,0000	4091594,0000	X				
<b>C05</b>	735366,7363	4082138,1245	2,2695	-6,36143883	36,85399694	49,0257	46,7562
<b>C06</b>	735388,1666	4082276,9572	2,4427	-6,36115567	36,85524179	49,1973	46,7546
<b>C07</b>	735415,2467	4082482,1841	2,3159	-6,36078861	36,85708312	49,0947	46,7788
<b>C08</b>	735451,0045	4082694,5839	3,3282	-6,36032206	36,85898688	50,2298	46,9016
<b>C09</b>	735591,5884	4083036,3293	3,5857	-6,35864062	36,86202926	50,5089	46,9232
<b>C10</b>	732459,7877	4106771,8624	3,2393	-6,38643379	37,07654463	51,6768	48,4375
<b>C11</b>	740505,0000	4088762,0000	3,0694				
<b>C12</b>	741591,0000	4088974,0000	3,1104				
<b>C13</b>	741091,0000	4094589,0000	4,4750				
<b>C14</b>	741312,9463	4093155,2497	4,6072	-6,29130261	36,95170092	51,2401	46,6329
<b>C15</b>	741516,1607	4100836,8618	3,1816	-6,28656460	37,02081624	50,8558	47,6742
<b>C16</b>	737501,0000	4092069,0000	X				
<b>C21</b>	722761,3122	4111990,5036	1,9196	-6,49388705	37,12589575	51,5757	49,6561
<b>C22</b>	722760,2115	4111988,4465	2,2226	-6,49390004	37,12587749	51,8698	49,6472
<b>Bat, 1</b>	729694,6000	4111983,7700	1,5162				
<b>Bat, 2</b>	729964,8700	4109914,8900	1,3047				
<b>Bat, 3</b>	730249,7100	4108722,7700	1,3270				
<b>Bat, 4</b>	732404,7000	4106790,1400	0,8983				

Notaciones: Elementos que presentan algún incumplimiento respecto de la situación de referencia:

Notes: Elements that present some breach in relation to the reference situation:

X-UTM-29-ED50	Y-UTM-29-ED50	Z-ORTOM,		ALT, WGS84	ONDULACIÓN
			GPS +/- 5m		
			Calculada utilizando la ondulación estimada del geóide		
			Z asimilada de un punto cercano		
			Sin dato o dato no fiable		
			Dato sin precisión		
			Obtenida del mapa de Ondulación de la Marisma con el fin de estimar Z		Estimada
			Dato de ondulación no utilizado en la elaboración del Modelo de Ondulación		

**Table 2.** Coordenadas de los principales elementos constitutivos de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND y de seguimiento de la sedimentación en la misma en septiembre de 2009; tras posicionar nuevamente sus coordenadas (x, y) con un equipo DGPS Leica, para aumentar la precisión de su emplazamiento a niveles de centímetro.

**Table 2.** Coordinates in September 2009 of the main elements of the Geometrical Levelling Network of the DNP marsh, in which the sedimentation is monitored. Their coordinates (x, y) were repositioned with a Leica DGPS to improve accuracy of location to centimetres.

cas (x, y) UTM-29-ED50 han sido reposicionadas con el equipo DGPS Leica y, por tanto, tienen precisión centimétrica, y como coordenada altimétrica (z) mantienen la establecida mediante nivelación geométrica con precisión de mm,. Los elementos que no cumplen alguna o ambas condiciones están señalados en amarillo; al final de la Tabla 2 se especifican las condiciones que no verifican. Por último, los datos cuya fiabilidad es dudosa están señalados en rojo.

En la Tabla 2 se dan las coordenadas de los vértices geodésicos de Trigo (VG1) y Cerrabarba (VG2); el clavo JPS-NT 106, que se adoptó como base para la red de nivelación geométrica de la marisma del PND (VG3); el vértice geodésico de Caracoles (VG4); las series de los hito-fenos HXX y JXX; las antiguas escalas de medición del calado de la inundación en la marisma (EXX); los tres pozos situados en el interior de la marisma del PND (PXX); un clavo topográfico instalado (2005) cerca del hotel Toruño (T01), que posteriormente desapareció; los extremos de los nuevos sistemas de registro continuo del nivel del agua en la marisma (DZXX); las compuertas de la marisma (CXX) y las baterías de tubos que sirven para conectar el Parque Nacional con el Parque Natural en la marisma Gallega (Bat).

A partir de julio de 2008 se comenzó a utilizar el equipo DGPS Leica, serie GPS1200, en todas las operaciones topográficas de campo, tanto en la marisma del PND como en el entorno del tramo final del arroyo del Partido anterior a su afluencia en la marisma de El Rocío; es decir, en el escenario de la «Actuación núm. 3 del Proyecto Doñana 2005». También se utilizó en el último levantamiento topográfico del cono de sedimentación del arroyo del Partido asentado sobre la marisma de El Rocío (2008); pero estas operaciones, que están fuera de lo que es estrictamente la marisma del PND, no son objeto del presente artículo.

**Enrase de la solera de la marisma del PND en los instrumentos dispuestos para su medición, obtenidos utilizando los nuevos procedimientos habilitados al efecto.**

La Tabla 3 muestra los resultados de las mediciones del enrase de la solera de la marisma del PND en las escalillas de los hito-fenos ins-

Hito-feno	Fecha de la medida	Medida del enrase (cm.) y procedimiento utilizado		Paraje donde se ubica
		Original	Alternativo	
H04	9-09-10	2,1	2,1	Caño de la Madre (1ª sección)
H07	9-09-10	3,4	3,4	Caño de la Madre (2ª sección)
H12	8-09-10	2,0	2,1	Caño Guadiamar (1ª sección) Pocitos del Rocío
H13	8-09-10	-0,6	-0,6	
H17	8-09-10	2,1	2,3	Lucio de Mari López
H18	8-09-10	4,0	3,8	
H19	8-09-10	4,8	4,9	
H20	8-09-10	4,0	3,8	
H21	8-09-10	3,5	3,3	
H22	8-09-10	3,0	3,0	
H23	9-09-10	1,1	1,1	Caño Guadiamar (2ª sección)
H24	9-09-10	3,2	3,0	
H25	9-09-10	3,0	3,6	
H26	8-09-10	0,8	0,9	Lucio de Mari López chico
H27	8-09-10	4,4	5,0	
H28	8-09-10	4,0	3,7	
H30	9-09-10	2,5	2,0	Caño de la Madre (3ª sección)
H33	7-09-10	4,4	4,8	Caño Travieso (1ª sección)
H34	7-09-10	-0,2	0,0	
H35	7-09-10	2,3	2,1	Caño Travieso (2ª sección)
H36	6-09-10	3,5	3,3	
H37	6-09-10	1,5	1,5	
H38	6-09-10	5,3	5,2	
H39	7-09-10	5,0	5,1	
H40	7-09-10	0,0	0,2	
H41	7-09-10	-1,2	-1,7	Lucios del Rey-Los Ánsares
H45	7-09-10	1,7	1,5	
H46	7-09-10	5,0	4,5	
H47	7-09-10	-0,7	-1,1	
H48	7-09-10	1,0	0,8	
H49	7-09-10	3,2	3,2	
H50	7-09-10	3,4	4,0	
H51	7-09-10	3,7	3,6	
H52	7-09-10	2,1	2,2	
H53	7-09-10	-0,2,	-0,2	
H54	7-09-10	2,0	1,7	
H55	7-09-10	1,3	1,3	

(Continúa en página siguiente)

Hito-feno	Fecha de la medida	Medida del enrase (cm.) y procedimiento utilizado		Paraje donde se ubica
		Original	Alternativo	
H69	5-09-10	-1,1	-0,9	Lucio de Vetalengua grande
H70	5-09-10	5,8	5,9	Lucio de Vetalengua chico
H71	5-09-10	2,5	2,5	
H72	5-09-10	2,8	2,8	
H73	5-09-10	2,0	1,7	Lucio de Vetalengua grande
H74	5-09-10	1,3	1,4	Lucio del Membrillo *Tratándose del hito-feno H76, se refiere al segundo, instalado en la marisma en 2008, en sustitución del anterior.
H76	5-09-10	0,3*	0,0*	
H77	5-09-10	1,5	1,2	
H78	5-09-10	3,7	3,6	
H79	5-09-10	6,2	6,8	
H80	5-09-10	5,0	5,8	
H82	5-09-10	5,7	6,1	
H83	5-09-10	1,8	1,5	
H84	5-09-10	-2,0	-1,7	
H85	5-09-10	1,2	1,1	
H86	5-09-10	-2,3	-2,2	
H87	5-09-10	2,6	2,7	
H88	5-09-10	5,5	5,8	
H92	6-09-10	0,8	0,9	Caño de la Madre (4ª sección)
H93	6-09-10	4,7	4,4	
H94	6-09-10	2,8	2,8	
H95	6-09-10	-0,8	-1,4	
J01	8-09-10	6,2	6,5	Lucio de Mari López
J02	8-09-10	-5,0	-5,0	Caño Guadamar
J04	9-09-10	4,5	3,7	
J05	8-09-10	1,2	1,2	
J06	8-09-10	0,0	0,0	Caño Travieso
J07	9-09-10	6,2	7,4	
J08	8-09-10	0,3	0,1	
J09	9-09-10	3,0	3,2	

**Tabla 3.** Resultados del enrase de la solera de la marisma del PND en los hito-fenos instalados en ella (series HXX y JXX) en 2010, con el procedimiento original y con su alternativa, que aleja la superficie de la solera de la marisma que se enrasa en la escalilla del hito-feno.

**Table 3.** Results of the level of the DNP marsh in 2010 in the landmarks (series HXX and JXX) with the original procedure and with the alternative of measuring the level of the marsh at a certain distance of the landmark.

talados en ella obtenidos en el verano de 2010, utilizando el procedimiento original (MINTE-GUI & ROBREDO 2001) y el alternativo; en este último se distancia la medida del enrase

de la posición del hito-feno. Solo se aportan los datos cuando los mismos se obtuvieron con los dos procedimientos y se recuerda que en el año en cuestión el procedimiento alternativo estaba aún en ciernes y solo se aplicó a un número limitado de hito-fenos de ambas series HXX y JXX.

En la Tabla 4 se aportan las lecturas de los dos años siguientes 2011-12 en los que se utilizó el nuevo procedimiento descrito en la metodología. En la misma, aparecen los hito-fenos, las fechas que en ellos se tomaron las medidas y los valores registrados siguiendo el protocolo original y a continuación utilizando el nuevo procedimiento; en este último las lecturas de las medidas siguen el orden siguiente: a) la obtenida en la cara donde está o estuvo la escalilla y b), c) y d) las anotadas en a las restantes caras en el sentido contrario a las agujas del reloj.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### Actualización de la estructura de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND

La actualización mediante un DGPS de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND ha mejorado la precisión de las coordenadas planimétricas (x, y) de sus puntos, ajustándolos a un error centimétrico; facilitando con ello la localización de aquellos que son posibles de identificar en la marisma, por estar referidos a elementos materiales instalados en ella (hito-fenos, escalas, compuertas, etc.), lo que repercute en una mayor agilidad en los trabajos de campo comentados en este artículo. Se ha mantenido la cota ortométrica z de los puntos de la citada Red obtenida con nivelación geométrica.

#### *Cálculo de la ondulación del geode respecto al elipsoide WGS84 en el PND*

Los puntos de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma del PND disponen de cota

Hito-feno	AÑO 2011						AÑO 2012					
	Fecha de la medida	Medida del enrase (cm.) y procedimiento utilizado					Fecha de la medida	Medida del enrase (cm.) y procedimiento utilizado				
		Original	Alternativo en las distintas caras					Original	Alternativo en las distintas caras			
			a)	b)	c)	d)			a)	b)	c)	d)
H04	16-07-11	2,3	0,9				22-09-12	0,3	-1,8	-0,4	0,0	-2,4
H05	16-07-11	30,0 <sup>(1)</sup>					22-09-12	26,0 <sup>(1)</sup>				
H06	16-07-11	1,8	0,3				22-09-12	0,0	0,7	-0,2	-0,5	-2,0
H07							22-09-12	3,9	1,2	1,2	4,0	5,2
H08	16-07-11	5,1	3,7				22-09-12	3,4	2,3	2,5	3,2	3,0
H09	16-07-11	2,2	1,7				22-09-12	1,6	1,7	1,3	1,3	1,6
H10	16-07-11	1,0	-1,2	0,0	-0,1	0,0	9-09-12	0,0	-1,7	-2,5	-1,3	-1,3
H11	16-07-11	3,8	2,8	4,0	3,3	4,3	9-09-12	1,0	0,1	1,2	0,8	1,5
H12							9-09-12	0,5	0,0	-0,2	-0,2	0,8
H13	9-09-11	-0,5	-0,8	-1,3	-2,4	-0,8	9-09-12	0,0	-1,7	-2,9	-1,6	-1,6
H14	9-09-11	4,7	2,7	3,7	2,8	6,5	9-09-12	2,7	0,3	1,3	0,0	4,8
H15	9-09-11	1,4	-0,3	0,5	0,4	0,0	9-09-12	0,1	-0,6	-0,8	-0,8	0,0
H16	9-09-11	-1,2	-1,9	-0,3	8,5	1,2	9-09-12	-4,2	-4,0	-1,2	-	-3,2
H17	9-09-11	3,3	1,4	1,9	1,8	1,9	9-09-12	1,7	-0,9	-1,4	-1,3	-0,6
H18	9-09-11	4,0	2,8	2,8	2,8	2,0	9-09-12	0,8	0,4	0,5	0,5	-0,1
H19	9-09-11	5,9	4,9	5,1	5,2	5,3	9-09-12	3,8	1,3	3,0	2,6	2,3
H20	9-09-11	3,8	3,4	3,8	3,8	3,4	9-09-12	1,7	1,3	2,1	1,6	0,1
H21	9-09-11	6,5 <sup>(2)</sup>	6,4	6,1	5,6	6,1	9-09-12	3,6	4,0	3,5	2,3	3,0
H22	9-09-11	3,4	3,5	2,5	4,2	3,9	9-09-12	1,5	1,8	1,8	2,0	2,0
H23							9-09-12	2,1	-0,8	0,8	-1,0	-1,8
H24							9-09-12	2,0	3,6	1,7	0,1	2,8
H25	9-09-11	3,4	3,3	1,4	2,2	1,7	9-09-12	2,0	1,5	0,0	0,8	1,0
H26	9-09-11	2,3	-0,2	0,9	0,6	2,2	8-09-12	0,4	-2,7	-1,2	-1,2	-0,6
H27	9-09-11	6,0	3,6	4,2	3,6	3,6	8-09-12	4,7	3,6	3,0	3,0	2,3
H28	9-09-11	4,5	3,2	2,3	7,4	4,5	8-09-12	0,5	0,8	1,8	3,5	2,4
H29	9-09-11	3,5	2,1	2,2	1,8	2,6	8-09-12	2,0	0,8	-0,4	-0,2	1,4
H30							22-09-12	7,2	0,8	2,1	-0,2	0,0
H31							22-09-12	3,0	3,0	3,0	2,2	4,4
H32							22-09-12	6,2	1,7	3,4	1,3	2,6
H33							8-09-12	1,8	1,9	3,1	3,0	2,7

(Continúa en página siguiente)

Hito-feno	AÑO 2011						AÑO 2012					
	Fecha de la medida	Medida del enrase (cm.) y procedimiento utilizado					Fecha de la medida	Medida del enrase (cm.) y procedimiento utilizado				
		Original	Alternativo en las distintas caras					Original	Alternativo en las distintas caras			
			a)	b)	c)	d)			a)	b)	c)	d)
H34							8-09-12	0,0	-0,3	-1,9	-1,8	-0,3
H35							8-09-12	0,3	-1,4	-0,8	-0,3	-1,7
H36							6-09-12	1,5	1,2	-0,6	0,3	0,0
H37							6-09-12	0,0	-2,3	0,6	3,0	-0,3
H38							6-09-12	4,5	3,0	3,0	5,4	3,9
H39							6-09-12	1,2	1,8	2,0	1,3	0,8
H40							6-09-12	-1,0	-2,0	-2,1	-3,0	-1,5
H41	7-09-11	0,1	-0,1	-0,8	1,3	-0,4	7-09-12	-1,1	-1,2	-1,7	0,3	-0,2
H42	7-09-11	1,5	0,7	0,1	1,4	0,6	6-09-12	0,0	0,4	-1,0	-1,9	-1,9
H43	7-09-11	2,5	4,2	4,3	3,5	3,0	6-09-12	0,8	1,4	5,0	2,7	3,0
H44	7-09-11	3,0	2,0	3,7	3,4	4,2	6-09-12	0,9	1,5	2,7	2,4	2,7
H45	7-09-11	1,6	2,4	1,2	1,2	1,5	6-09-12	-0,3	0,3	0,3	-0,8	1,2
H46	7-09-11	6,2	5,2	5,0	5,0	5,5	7-09-12	4,6	3,0	4,0	3,4	2,3
H47	7-09-11	0,0	0,8	0,6	0,6	0,6	7-09-12	-1,5	-1,6	-0,3	-1,8	-2,7
H48	7-09-11	1,8	1,3	1,6	1,3	1,8	7-09-12	0,0	-0,1	0,1	0,0	0,0
H49	7-09-11	3,7	1,3	3,3	2,5	2,5	7-09-12	2,4	0,9	1,4	0,8	0,8
H50	7-09-11	4,3	3,2	3,4	3,0	3,0	7-09-12	3,3	1,3	0,9	1,9	2,0
H51	7-09-11	4,8	3,4	3,9	3,3	3,7	7-09-12	3,8	2,5	1,4	2,0	2,0
H52	6-09-11	2,3	1,7	1,7	1,5	1,8	7-09-12	1,4	0,0	0,0	0,0	0,6
H53	6-09-11	2,4	0,5	0,5	0,1	0,1	7-09-12	-0,8	-0,4	-1,5	-1,1	-2,3
H54	6-09-11	1,1	-0,6	-0,3	-0,6	-0,4	7-09-12	0,0	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8
H55	6-09-11	3,3	3,5	2,0	4,8	5,3	7-09-12	1,4	-1,1	-0,1	0,1	2,0
H56	7-09-11	2,9	1,3	2,4	0,8	1,6	7-09-12	0,9	-0,5	0,1	0,2	-0,2
H57	5-09-11	4,3	3,0	3,0	3,2	3,0	7-09-12	2,2	1,3	1,3	0,1	0,2
H58	6-09-11	3,4	1,5	0,5	0,7	1,1	7-09-12	2,1	0,2	-0,5	-0,7	-0,7
H59	6-09-11	3,1	2,0	1,3	1,7	1,3	7-09-12	1,0	-0,3	-0,3	-0,5	-0,4
H60	6-09-11	inundl <sup>(3)</sup>					7-09-12	0,0	-0,2	-0,3	0,0	-0,4
H61	6-09-11	2,3	0,7	0,9	0,9	0,9	7-09-12	0,0	-0,1	-2,2	-0,5	-0,8
H62	6-09-11	4,7	4,1	4,1	4,4	3,9	7-09-12	3,0	1,0	1,0	0,8	0,8
H63	6-09-11	4,6	1,6	2,3	2,2	2,2	7-09-12	3,3	0,5	0,5	1,0	1,0

Hito-feno	AÑO 2011						AÑO 2012					
	Fecha de la medida	Medida del enrase (cm.) y procedimiento utilizado					Fecha de la medida	Medida del enrase (cm.) y procedimiento utilizado				
		Original	Alternativo en las distintas caras					Original	Alternativo en las distintas caras			
			a)	b)	c)	d)			a)	b)	c)	d)
H64	6-09-11	4,6	3,5	2,8	2,6	3,0	7-09-12	2,5	1,0	1,5	1,6	2,4
H65	5-09-11	5,0	3,2	3,2	3,8	3,5	7-09-12	3,3	1,5	1,3	1,8	2,2
H66	5-09-11	2,7	1,1	3,0	2,8	2,0	7-09-12	1,4	0,0	1,9	1,3	0,3
H67	5-09-11	1,8	0,6	0,7	0,7	0,5	7-09-12	0,0	-1,1	-0,7	-0,7	-1,7
H68	5-09-11	0,0	0,9	0,0	-1,3	-1,2	7-09-12	-0,8	-0,6	-0,5	-1,8	-1,0
H69	7-09-11	0,0	-2,2	-1,0	-2,6	-2,5	5-09-12	-1,4	-3,0	-3,7	-2,3	-2,3
H70	8-09-11	arenas <sup>(4)</sup>					6-09-12	arenas <sup>(4)</sup>				
H71	8-09-11	3,8	1,1	-0,2	0,6	-0,1	6-09-12	0,9	-2,3	-2,1	-3,0	-0,3
H72	8-09-11	3,3	2,4	1,7	1,7	2,2	6-09-12	1,7	0,2	1,8	0,9	-0,7
H73	7-09-11	2,1	1,6	0,8	0,8	0,8	5-09-12	0,7	-0,9	-1,2	-1,1	-0,2
H74	7-09-11	8,5 <sup>(5)</sup> sm	7,8	8,5	8,5	9,2	5-09-12	6,3	6,2	6,6	6,2	6,4
H75	7-09-11	7,0 <sup>(5)</sup> sm	5,8	6,1	6,6	6,8	5-09-12	6,3	5,2	6,3	4,5	4,6
H76	8-09-11	0,0 <sup>(6)</sup> n	-0,7	-1,7	-0,9	-0,9	5-09-12	-0,6 <sup>(6)</sup> n	-3,5	-3,6	-2,8	-1,4
H77	8-09-11	4,2	2,3	1,8	2,9	3,4	5-09-12	2,4	0,8	0,0	1,1	2,0
H78	8-09-11	4,0	2,8	2,1	2,9	2,4	5-09-12	6,2	5,6	6,8	4,0	8,1
H79	8-09-11	6,2	6,2	5,7	6,1	5,6	5-09-12	5,3	4,0	4,5	5,0	4,7
H80	8-09-11	5,3	4,3	4,5	4,5	4,2	5-09-12	3,0	1,4	1,6	1,6	1,6
H81	8-09-11	arenas <sup>(4)</sup>					5-09-12	arenas <sup>(4)</sup>				
H82	8-09-11	5,5	4,3	3,9	4,2	4,6	5-09-12	3,8	2,4	1,9	2,7	2,3
H83	8-09-11	1,8	0,6	1,2	1,0	0,7	5-09-12	0,3	0,1	0,3	0,0	-1,3
H84	17-07-11	-2,1					5-09-12	-2,3				
H85	8-09-11	1,8	1,0	0,7	0,6	0,4	5-09-12	-0,3	-1,9	-1,5	-0,6	-1,0
H86	8-09-11	-2,0	-2,1	-2,3	-2,4	-1,6	5-09-12	-3,6	-4,1	-3,3	-3,5	-3,7
H87	8-09-11	3,2	1,8	1,8	1,5	1,5	5-09-12	3,0	1,0	0,2	1,2	0,1
H88	8-09-11	5,9	4,6	4,6	4,4	5,5	5-09-12	6,2	5,7	5,7	4,7	5,9
H89	17-07-11	4,3	3,0	2,2	1,5	1,5	5-09-12	2,6	4,5	0,1	0,0	0,0
H90	17-07-11	1,2	-1,0	2,0	0,5	-0,9	5-09-12	0,6	-1,4	1,4	-0,9	-2,1
H91	8-09-11 17-07-11	5,7 <sup>(6)</sup> n 6,2 <sup>(6)</sup> n	-0,2	-1,1	8,8	17,9	5-09-12	5,0 <sup>(6)</sup> n	-1,4	-0,8	8,3	17,1
H92	8-09-11	2,0	-0,1	0,0	0,0	0,3	6-09-12	0,9	-2,8	-1,6	-1,1	-1,4

(Continúa en página siguiente)

Hito-feno	AÑO 2011						AÑO 2012					
	Fecha de la medida	Medida del enrase (cm.) y procedimiento utilizado					Fecha de la medida	Medida del enrase (cm.) y procedimiento utilizado				
		Original	Alternativo en las distintas caras					Original	Alternativo en las distintas caras			
		a)	b)	c)	d)		a)	b)	c)	d)		
H93						6-09-12	4,8	3,8	3,8	3,9	4,1	
H94						6-09-12	0,4	3,9	0,0	1,9	2,9	
H95						6-09-12	-0,3	-4,3	0,3	-0,6	-0,7	
H96	8-09-11	6,7 <sup>(2)</sup>	5,4	7,9	7,5	7,3	6-09-12	6,2	3,3	8,5	5,4	5,5
H97	6-09-11	2,3	0,8	0,8	1,7	1,4	7-09-12	0,8	0,0	0,0	0,0	-0,2
H98												
H99						22-09-12	3,2	0,4	-0,2	-0,8	-0,2	
J01	9-09-11	6,2	6,2	6,2	6,4	6,5	9-09-12	4,4	3,2	2,1	2,5	2,5
J02	9-09-11	-6,0	-12,5	-5,2	0,5	-1,5	9-09-12	-6,0	-14,5	-6,7	0,0	-3,5
J03	16-07-11	3,0	1,0	6,0	2,5	1,6	9-09-12	3,2	0,8	0,2	2,4	1,5
J04							9-09-12	2,4	3,0	2,3	2,6	-0,1
J05							9-09-12	0,0	-0,2	-1,0	-0,5	-0,1
J06	9-09-11	1,0	-0,8	2,0	0,2	0,8	9-09-12	0,8	-0,6	1,5	0,5	-1,5
J07							8-09-12	3,2	0,2	6,4	1,1	3,7
J08							8-09-12	0,4	0,8	-1,0	-1,5	-0,9
J09							8-09-12	3,5	1,5	-0,6	3,0	2,5
J10	Clavo situado en el puente del aforador (arroyo del Partido)						Clavo situado en el puente del aforador (arroyo del Partido)					
J11	18-07-11	2,7	0,8	0,8	0,3	0,5	8-09-12	0,0	-1,5	-2,0	-1,2	-1,0
J12	18-07-11	1,7	0,6	1,4	1,0	0,4	8-09-12	1,5	-1,7	-1,4	0,8	1,0
J13	18-07-11	1,2	0,3	-0,3	-0,1	0,0	8-09-12	0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,4
J14	18-07-11	-2,9	-3,6	-3,7	-4,7	-4,3	8-09-12	-4,7	-5,5	-5,6	-6,1	-5,5
J15	18-07-11	3,1	0,9	2,8	1,4	1,4	8-09-12	2,3	0,9	1,2	0,9	0,9
J16	18-07-11	2,7	3,2	2,7	0,6	3,1	8-09-12	1,7	1,4	1,3	0,2	2,6
J17	18-07-11	5,3	3,3	0,5	0,5	1,9	8-09-12	2,3	2,0	-0,6	-0,6	0,1
J18	18-07-11	2,7	2,3	3,2	1,8	1,8	8-09-12	2,4	0,9	-0,1	2,7	1,4
J19	18-07-11	3,3	1,2	2,7	1,5	2,4	8-09-12	2,8	1,1	0,9	1,2	2,5
J20	18-07-11	0,7	-1,5	-0,9	0,7	-0,1	8-09-12	-0,5	-3,0	-1,1	-0,1	-0,8
J21	18-07-11	4,6	3,5	2,0	2,7	2,2	8-09-12	3,0	3,2	1,9	1,8	2,7
J22	18-07-11	3,5	4,2	4,3	3,5	4,2	8-09-12	3,6	3,6	5,0	2,9	4,0
J23	16-07-11	3,9	1,4				22-09-12	2,7	-2,0	0,9	1,4	0,8

Hito-feno	AÑO 2011						AÑO 2012					
	Fecha de la medida	Medida del enrase (cm.) y procedimiento utilizado				Fecha de la medida	Medida del enrase (cm.) y procedimiento utilizado					
		Original	Alternativo en las distintas caras				Original	Alternativo en las distintas caras				
		a)	b)	c)	d)		a)	b)	c)	d)		
J24	16-07-11	3,0	1,3			22-09-12	3,3	-1,2	1,2	1,2	-0,7	
J25	16-07-11	5,6	4,5									
J26	16-07-11	3,2	1,4			22-09-12	1,1	0,8	1,5	1,5	-0,3	

**Notaciones:**

- <sup>(1)</sup> El hito-feno H05 está enterrado en la marisma, La lectura que aparece es la de la escala E03 que se ubica muy próximo al mismo.
- <sup>(2)</sup> Los hito-fenos H21 y H96 se encontraron en el verano de 2011 enterrados en una mezcla de arcilla, restos orgánicos y vegetación que los tapaban por completo en su parte superior. inun<sup>(3)</sup> El emplazamiento se encontraba intransitable en el verano de 2011, debido a una inundación previa en el lugar, no se tomó la medida. arenas<sup>(4)</sup> Los hito-fenos H70 y H81 están enterrados en arenas, en los extremos de sus respectivos ejes de nivelación. No se planteó tomar la medida.
- <sup>(5)</sup>sm (sin medida) Los hito-fenos H74 y H75 no se pudieron enrasar debidamente. Un accidente los dejó enterrados en 2011; el dato que aparece en la tabla se refiere a la distancia entre la base del hito-feno y la solera de la marisma; pero carece de significado. El año siguiente se arrastró el problema.
- <sup>(6)</sup>n (nuevos) Se trata de nuevos hito-fenos instalados en la marisma en 2009, para sustituir a los anteriores hito-fenos. En el caso del H76 porque el hito-feno instalado en 1995 se encontró con su eje de fijación a la marisma doblado en 2008; probablemente por el paso de un vehículo por encima. En el caso del H91 porque desapareció, lo más probable es que fuera quitado ya que el hito-feno estaba instalado en el extremo del lucio del Membrillo, al borde de un camino en el que se realizaron algunas operaciones; al no encontrarse, incluso utilizando un detector de metales, se le dio por desaparecido y se sustituyó por uno nuevo.

**Tabla 4.** Enrase de la solera de la marisma del PND en los hito-fenos instalados en ella (series HXX y JXX) por los dos procedimientos; el original (MINTEGUI & ROBREDO 2001) y el nuevo expuesto en la metodología de este artículo. En este último las lecturas de las medidas siguen el orden siguiente: a) la obtenida en la cara donde está o estuvo la escalilla y b), c) y d) las anotadas en a las restantes caras en el sentido contrario a las agujas del reloj.

**Notes:**

- <sup>(1)</sup> Landmark H05 is buried in the marsh. The data shown refers to the scale E03 placed next to it.
- <sup>(2)</sup> Landmarks H21 and H96 were found buried in summer 2011 under a mixture of clay, organic debris and vegetation which covered their top faces. inun<sup>(3)</sup> The location was impassable in summer 2011 due to a previous flood in the area. No data was taken. arenas<sup>(4)</sup> Landmarks H70 and H81 are buried in sand in their respective extremes of levelling axis. It was not considered to measure them.
- <sup>(5)</sup>sm (non measured) Landmark H74 and H75 could not be levelled properly. They were buried in 2011 due to an accident. Data shown in the table refers to the distance between the base of the landmark and the marsh, but it is meaningless. The problem continued the following year.
- <sup>(6)</sup>n (new) New landmarks were set up in the marsh in 2009 to replace the previous landmarks. In case of H76, the landmark set up in 1995 was found with its shaft bended in 2008. Probably a vehicle ran over it. In case of H91, it disappeared. Probably, the landmark placed at an extreme of Membrillo pond was removed when works were made on the road close to it. It was not found again even with the support of a metal detector. A new landmark was established.

**Table 4.** Level of the DNP marsh in the landmarks set up (series HXX and JXX) by both proceedings, the original method (MINTEGUI & ROBREDO 2001) and the new method explained in the methodology section. Data in that part of the article follows the next order: a) measure on the landmark's face where the scale is or was, and b), c) and d) measures recorded on the rest of faces counterclockwise.

z ortométrica (ajustada al geode). De estos puntos los más significativos son los que están materializados en la marisma por elementos instalados en ella, que se utilizan para el seguimiento de sus procesos de erosión-sedimentación. Al proporcionar el DGPS las cotas de esos mismos puntos referidas al elipsoide GW84, la doble información disponible de la cota z, ha permitido proceder a estimar el mapa de ondulación del geode en el área en cuestión

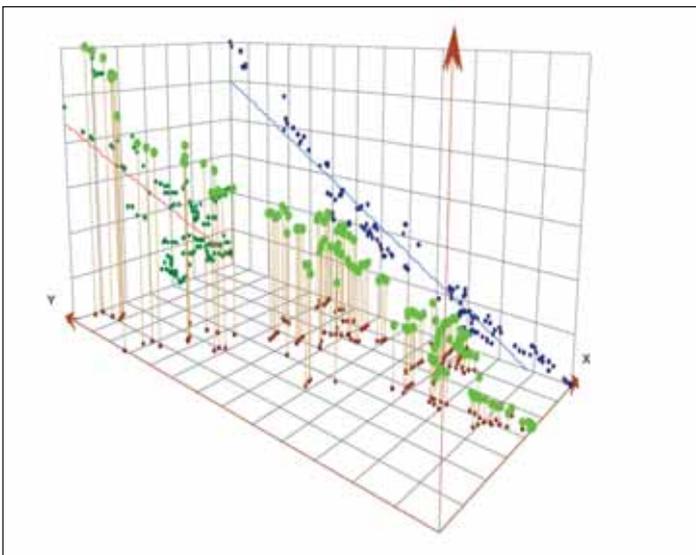
Para la elaboración de dicho mapa de ondulación se utilizaron prácticamente todos los puntos de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma PND, materializados sobre ella, que disponían de su cota ortométrica y de su altitud WGS84; se eliminaron únicamente aquellos elementos que se constató que habían experimentado una variación de posición con respecto a la que tenían cuando se le dio su cota ortométrica, para evitar que distorsionaran el mapa de ondulación y, para asegurarse de ello, no se utilizaron de entrada las escalas de medida de la inundación de la marisma; ni los clavos de anclaje de los hito-fenos H76 y H91, pues los mismos fueron sustituidos por otros en el año 2008; ni tampoco algunos otros hitos o elementos de los que existían sospechas que hubieran sido pisados o modificados

y, por lo tanto, no había seguridad de correspondencia entre la cota ortométrica y la altitud elipsoidal.

Dado que el error de lectura del sistema DGPS es centimétrico y que los elementos de la Red de Nivelación utilizado pudieran tener un cierto desplazamiento vertical a lo largo del tiempo, se procedió a determinar el mapa de ondulación ajustando geo-estadísticamente a los datos existentes, con el fin de obtener una superficie ajustada a valores locales, pero sin distorsiones importantes que se alejen de lo que razonablemente tendría que ser dicho mapa. El proceso llevado a cabo se describe en los apartados siguientes.

### Análisis de tendencias

En primer lugar se analizaron las tendencias de los valores de ondulación en dirección de los ejes X e Y (coordenadas UTM-Huso29 ED50) de manera separada (Figura 14). Así mismo se ajustó una recta de regresión lineal a los valores de ondulación respecto a las coordenadas X e Y. En la Figura 14 se muestra, sobre cada uno de los planos XZ e YZ, las rectas de regresión, apreciándose una buena correlación entre la



**Figura 14.** Representación de las coordenadas de los puntos en los ejes x e y (UTM-Huso 29-ED50) y la ondulación en el eje z (Elipsoide - Geode). Sobre los planos del triedro las tendencias en los planos XZ (rojo) e YZ (azul).

**Figure 14.** Representation of point coordinates in x and y axis (UTM-time zone 29-ED50) and undulation in z axis (ellipsoid - geoid). On the planes of the trihedron the trend of XZ plain (red) and YZ plane (blue) are shown.

posición geográfica de los puntos medidos ( $x$ ,  $y$ ) y los valores de ondulación ( $z$ ). Los resultados que se muestran en dicha figura sugieren una clara tendencia de las ondulaciones según un plano inclinado con valores que crecen en las direcciones Sur-Norte y Este-Oeste.

### ***Interpolación de los valores observados mediante krigeado ordinario con deriva externa***

Para la elaboración del mapa de ondulaciones a partir de los valores observados, se utilizó un método geo-estadístico conocido como krigeado ordinario. En la aplicación de este método se recomienda, para mejorar su rendimiento o simplemente de cumplir con ciertas hipótesis de partida, eliminar primero las tendencias generales que puedan presentar los datos. Esta técnica se conoce con el nombre de krigeado con deriva externa, por contar con una o varias variables auxiliares respecto a las cuales la variable de interés tiene una tendencia marcada. El procedimiento es similar al krigeado ordinario, con la diferencia que se añade un paso previo en el que se elimina la tendencia de los datos.

En el presente caso, al quedar demostrado en el análisis de tendencias la existencia una clara tendencia general en función de las variables auxiliares  $x$  y  $y$ , es decir, una tendencia geográfica; se ajustó en primer lugar a un modelo de regresión polinómica en los ejes  $X$  e  $Y$  de grado 1, es decir, una superficie plana. El modelo lineal tiene la expresión siguiente:

$$Z(x_i, y_i) = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 y_i + \varepsilon(x_i, y_i)$$

Donde  $Z(x_i, y_i)$  es la variable en la posición  $(x_i, y_i)$ ,  $\beta_i$  son los parámetros ajustados por mínimos cuadrados y  $\varepsilon(x_i, y_i)$  representa el error que debe ser minimizado.

A continuación se calcularon los residuos de los puntos respecto a este plano general de tendencia y se aplicó el krigeado ordinario a los valores residuales. Los resultados de la interpolación para toda la superficie de estudio,

que son los residuos estimados respecto a dicho plano, se sumaron a los valores predichos por la interpolación polinómica de primer grado, para obtener el valor de ondulación estimada en cada punto de la superficie.

El krigeado ordinario se fundamenta en la variabilidad espacial y la correlación de una variable continua observada en localizaciones concretas, para predecir la magnitud de la variable en las localizaciones no muestreadas. El principio intuitivo en que se fundamenta el método consiste en que la variable toma valores similares en puntos separados por las distancias más cortas, mientras que a medida que la distancia entre dos localizaciones aumenta, la diferencia de los valores que toma la variable en ellas se hace mayor.

Estos métodos fueron ampliamente detallados por CRESSIE (1993) y normalmente constan de dos pasos: *a*) un paso preliminar de exploración de los datos y su análisis estructural basado en la localización geográfica de los mismos y *b*) un segundo paso de predicción de la variable en las posiciones que no cuentan con medición.

Para determinar la autocorrelación espacial de la variable se empleó un modelo de semivariograma (o variograma). La autocorrelación espacial queda caracterizada por el variograma experimental, que mide la diferencia entre pares de puntos separados por una distancia  $h$ . En consecuencia, el variograma se calcula como la mitad de la diferencia cuadrática promedio entre los pares que se encuentran en cada rango de distancias. La semivarianza se define por la expresión:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot \sum_{a=1}^{N(h)} [z(u_a) - z(u_{a+h})]^2$$

Donde:  $N(h)$  es el número de pares separados por una distancia  $h$ ; siendo  $z(u_a)$  y  $z(u_{a+h})$  los valores medidos de las variables en las posiciones  $u_a$  y  $u_{a+h}$  respectivamente. Una vez determinado el variograma experimental, la autocorrelación se modela ajustando a un variograma teórico, en este caso de tipo esférico (GOOVAERTS, 1999) con efecto pepita, usan-

do el método de mínimos cuadrados ponderados (CRESSIE, 1993).

En el caso del kriging ordinario, la predicción de la variable en la posición  $u_a$  ( $z^*(u_a)$ ) se estima mediante la expresión:

$$z^*(u_a) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(u_a) \cdot z(u_i)$$

Donde  $\lambda_i$  es el peso correspondiente a cada uno de los  $n$  puntos muestreados  $z(u_i)$ , cumpliendo las condiciones que se dan a continuación, de modo que el estimador no sea sesgado, y minimizando la varianza del estimador adjunto. De este modo el kriging supone el mejor ajuste lineal no sesgado.

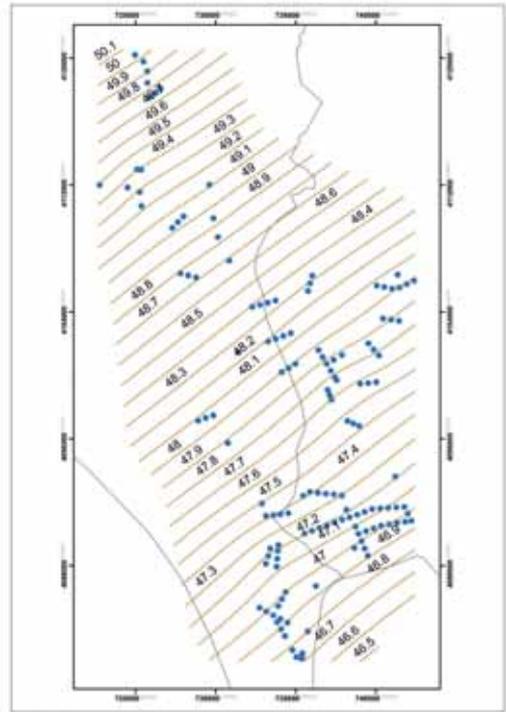
$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

$$\sigma_E^2 = \text{Var}\{Z^*(u_a) - Z(u_a)\}$$

**Mapa de ondulación resultante de la marisma del PND y su entorno**

El resultado de la interpolación se muestra en la Figura 15 en forma de isóneas de ondulación. Los valores de éstas varían desde los 46,5 metros en el lado sureste hasta 50,1 metros en el lado noroeste. Es notorio el pronunciado gradiente que presenta la ondulación en esta zona, lo que realiza la importancia de usar un mapa de ondulaciones a la hora de trabajar con equipo DGPS en el PND. Este acusado gradiente es acorde con los resultados obtenidos por NÚÑEZ *et al.* (2008) estudiando un área más amplia, aunque con un número más reducido de puntos en el área interior de la marisma.

Otro producto del kriging es la estimación del error estándar de la estimación en toda la superficie de estudio. En la Figura 16 se muestra el mapa de distribuciones de este error. La zona interior de la marisma presenta errores estándar para las predicciones inferiores a 6 centímetros. No obstante, este error en el entorno de los puntos muestreados se reduce a 5 centímetros.



**Figura 15.** Mapa de ondulaciones para el área del Parque Nacional de Doñana. Las líneas en marrón representan las isóneas de ondulación, las líneas en negro los límites de las provincias de Huelva (arriba izquierda), Sevilla (arriba derecha) y Cádiz (abajo derecha), y la línea costera (abajo izquierda). Los puntos en azul representan los 137 puntos utilizados para la interpolación. Unidades en metros

**Figure 15.** Map of undulation of the geoid for the Doñana National Park. In brown the undulation isolines, in black the Huelva province boundaries (top left), Seville province (top right), Cádiz province (bottom right), and the coastline (bottom left). Blue points represent the 137 points used for interpolation. Units in meters.

Para comprobar la bondad del mapa de ondulaciones se utilizó el procedimiento de la validación cruzada. Se calculó en cada punto de muestreo el error como la diferencia entre el valor simulado o esperado, excluyendo el propio punto en la simulación, menos el valor medido en dicho punto (Esperado - Observado).

En las Figuras 17 y 18 se muestran los resultados de la validación cruzada. Por un lado se ajustó una recta de regresión a los valores esperados frente a los observados (Figura 17)

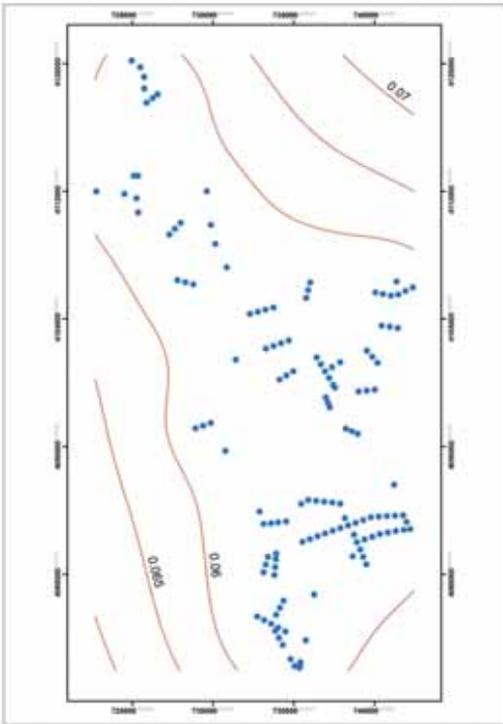


Figura 16. Mapa del error estándar de la predicción. Unidades en metros

Figure 16. Map of standard error of the prediction. Units in meters.

obteniéndose una muy buena correlación ( $R^2 = 0,996$ ). Por otro lado se representaron los errores resultantes de la validación cruzada, los cuales muestran un comportamiento centrado en el 0, sin sobreestimaciones o subestimaciones importantes (Figura 18).

Se han calculado además los promedios de diferentes errores: Error Medio (EM) y la Raíz del Error Cuadrático Medio (RECM), que se muestran en la Tabla 5. El EM refleja el sesgo de la estimación, de modo que para una estimación sin sesgo el EM debería ser próximo a 0; la RECM indica la precisión de la estimación, siendo la RECM especialmente sensible a los valores extremos, por lo que se tuvo especial atención para analizar este indicador. (Tabla 5).

Estadístico	Valor (m)
EM	-0.00042
RECM	0.05328

Tabla 5. Valor de los estadísticos que resultan de la validación cruzada. Error Medio (EM) y Raíz del Error Cuadrático Medio (RECM)

Table 5. Statistical outcomes of the cross-validation. Mean error (EM) and Root Mean Square Error (RECM).

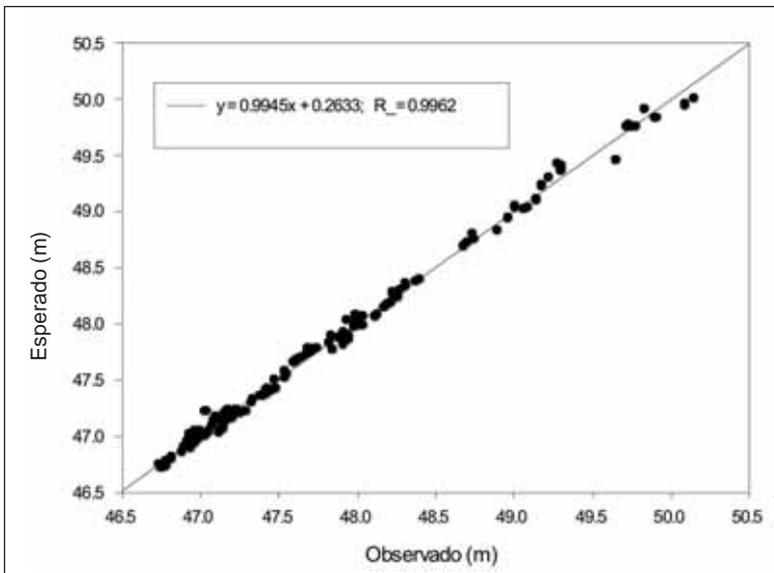
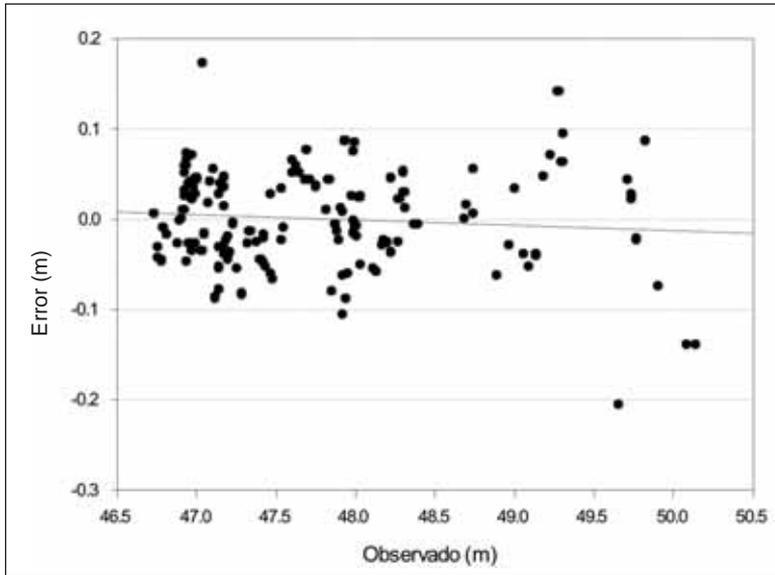


Figura 17. Valores simulados obtenidos de la validación cruzada (Esperado) frente a valores medidos (Observado) y línea de tendencia.

Figure 17. Simulated values obtained in the cross-validation (expected) against the mean values (observed) and the trend line.



**Figura 18.** Errores obtenidos en la validación cruzada (Esperado - Observado) y línea de tendencia

**Figure 18.** Error in the cross-validation (expected - observed) and the trend line.

***Aplicaciones del mapa de la ondulación del geoides respecto al elipsoide WGS84 confeccionado para el área de la marisma del PND y su entorno***

Establecido el mapa de ondulación de la marisma del PND, se ha observado que la determinación de la coordenada *z*, utilizando el DGPS y corrigiendo el valor proporcionado por éste mediante el mapa de ondulación, presenta una buena precisión, con un error centimétrico que, aunque no sea comparable a los valores obtenidos por nivelación geométrica, resulta adecuado: *a)* para realizar levantamientos topográficos que no requieran una precisión milimétrica, lo que agiliza mucho la determinación de perfiles longitudinales y secciones transversales que haya que realizar en el seguimiento de los procesos de erosión-sedimentación en el área en cuestión y *b)* para definir la cota e incluso para analizar la posible variación de la misma de algunos elementos de la Red.

La segunda aplicación (*b*) se relaciona con el problema específico de la posible oscilación de

los elementos de medida instalados en la marisma para enrasar su solera (hito-fenos y escalas). En este contexto, si bien dos lecturas consecutivas no permiten asegurar que exista realmente una variación de la cota del elemento en la misma magnitud; una secuencia de lecturas anuales de varios años puede mostrar una tendencia que lleve a constatar una variación de la posición del elemento a lo largo de los mismos, como puede ser su progresivo hundimiento o su oscilación en función del grado de desecación de la solera de la marisma. Este aspecto se planteó como objetivo para conocer a medio y largo plazo la estabilidad de los elementos utilizados para enrasar la solera de la marisma y, atendiendo al mismo, se comenzó a utilizar para dicho propósito la información obtenida en el verano de 2008.

En el periodo 2008-12 se ha llevado un seguimiento anual de la posición DGPS de todos los hito-fenos y escalas instalados en la marisma e integrados en su Red de Nivelación Geométrica; al mismo tiempo que se ha realizado la lectura del enrase de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos y en la base de las escalas; con el fin de tener una secuencia histórica de dichos valores. Dada la simulta-

neidad de ambas operaciones, la nueva tarea no supone un gran incremento en el tiempo dedicado a tomar los datos.

El principal problema de estas lecturas es la necesidad de colocar la base correspondiente al sistema DGPS en un punto con la suficiente cobertura, para no tener que cambiarla de posición frecuentemente. Hasta el momento los puntos que se han utilizado para colocar la base son el vértice geodésico de Caracoles (VG4), el tejado del Centro José Antonio Valverde en Cerrado Garrido (V60), la terraza de la Casa de Brenes (V61) y la terraza del Hotel Toruño en el Rocío (V62); los cuatro, por su altura con respecto al terreno colindante, permiten realizar lecturas en un territorio amplio sin necesidad de cambiar de posición dicha base. También se ha posicionado la base sobre diversos hito-fenos, pero su radio de acción es limitado. En este sentido sería interesante poder disponer de una ubicación permanente en algún punto centrado de la marisma, en la cual se pudiera colocar la antena de radio asociada al equipo a una altura importante. Dicha ubicación sería útil para cualquier trabajo que se realice en la marisma utilizando instrumentación DGPS.

## **Enrase de la solera de la marisma del PND en los instrumentos dispuestos para su medición, obtenidos utilizando el nuevo procedimiento habilitado al efecto (2011)**

Las lecturas anuales del enrase de la solera de la marisma en las escalillas de los hito-fenos, o en su defecto en la cara del hito en la que se encontraba la escalilla, es decir, todos los años en el mismo punto, no estaba exento de que de un año para otro pudiera haber sido afectado por alguna irregularidad ajena al proceso de secado regular de la superficie de la marisma; como, por ejemplo, pisadas del ganado o el desarrollo de una planta en su entorno que alterase la superficie plana horizontal a la que se estaba realizando el seguimiento.

Como se ha comentado, tras un intento preliminar en el verano de 2010, en el verano siguiente 2011 se planteó compaginar, junto con el sistema tradicional, un nuevo sistema de medición, que enrasara la solera de la marisma en puntos alejados unos decímetros del hito-feno, donde la superficie de la marisma no estuviera alterada, para que las posibles perturbaciones asociadas a la estructura de dicho hito-feno no interfirieran en la medida del enrase con el terreno. Se decidió también realizar cuatro medias, orientadas según las cuatro caras del hito-feno, para tener un valor medio más representativo de cada ubicación.

Normalmente los hito-fenos se colocaron en superficies llanas, pero algunos de ellos se ubicaron en zonas con una cierta inclinación, o la vegetación existente en las inmediaciones ha ocasionado que las cuatro lecturas sean muy dispares. Esto hace que el valor medio de los cuatro valores registrado tenga más incertidumbre, a la hora de reflejar el valor medio del nivel del terreno en el área de localización del hito-feno.

Para comparar los valores registrados según el método tradicional de lectura y el nuevo método adicional que se está empleando desde hace dos años, se ha analizado la relación entre ambas lecturas: dato en escalilla frente a media de los cuatro valores tomados en el entorno próximo.

En primer lugar se han dividido el set de datos en cuatro grupos:

- Grupo 1. Hito-fenos en los que la desviación típica de los cuatro valores tomados en el entorno es menor que 5 milímetros.
- Grupo 2. Hito-fenos en los que la desviación típica de los cuatro valores tomados en el entorno está entre 5 y 10 milímetros.
- Grupo 3. Hito-fenos en los que la desviación típica de los cuatro valores tomados en el entorno está entre 10 y 20 milímetros.
- Grupo 4. Hito-fenos en los que la desviación típica de los cuatro valores tomados en el entorno es mayor que 20 milímetros.

Se entiende que el grupo 1 es el representativo de las zonas llanas, sobre las que principalmente se está realizando el seguimiento del aterramiento, estando el resto de los grupos en ubicaciones alteradas por alguna circunstancia, bien por la vegetación o bien por una pendiente local asociada a la microtopografía. En estos últimos casos habría que plantear un estudio más detallado del entorno, para relacionar los valores del enrase medidos por el método tradicional y los cuatro valores obtenidos con el nuevo procedimiento. La comparación entre los valores medidos mediante el método tradicional y la media de los cuatro valores re-

gistrados en las cuatro caras del hito-feno se muestran en la Figura 19.

A la vista de la tendencia correspondiente al grupo 1 se puede deducir que, restando un centímetro a las lecturas realizadas por el método tradicional, se podría inferir el nivel de la marisma en el entorno del hito-feno y, de este modo, poder transformar la serie histórica recopilada desde 1995 para asociársela a los nuevos valores registrados según el nuevo método de medida, más ajustado e independiente de posibles distorsiones asociadas al ganado, al desarrollo de la vegetación en el entorno del hito-feno o a otras circunstancias.

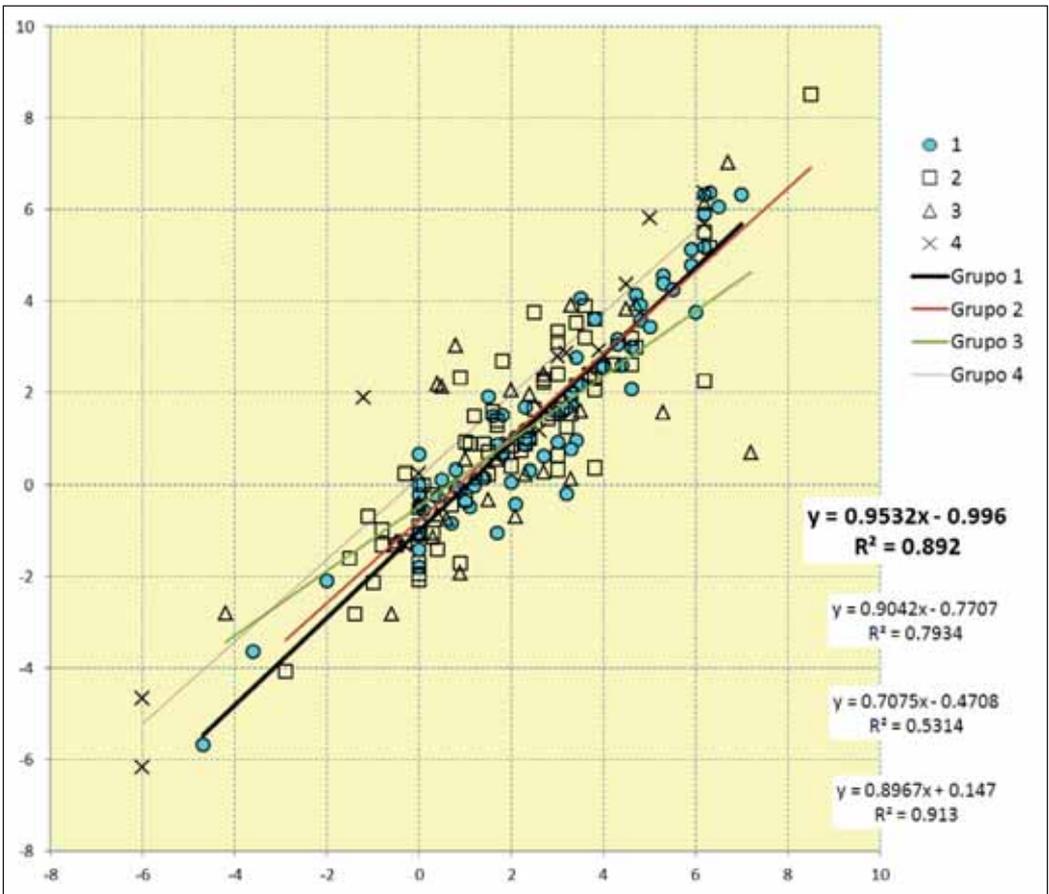


Figura 19. Líneas de tendencia que relacionan las medidas de aterramiento realizadas por el método tradicional, eje de abscisas, y la media de los cuatro valores de nivel registrados en las cuatro caras del hito-feno, eje de ordenadas.

Figure 19. Trend lines that relates the silting up measures carried out by traditional method, abscise axis, and the average of the four values recorded in the four faces of the landmark, ordinate axis.

## CONCLUSIONES

Se ha expuesto a lo largo del artículo las mejoras introducidas con el «Proyecto de ampliación, seguimiento y actualización del modelo sedimentario de la marisma del PND» en la espacio objeto del mismo, desde su inicio en 2006 hasta el final del año hidrológico 2011-12, tanto en lo referente a la mejora de la Red de Nivelación Geométrica de la marisma, como en su utilización para detectar las variaciones de la solera de la marisma en relación con los procesos de erosión y sedimentación en la misma.

La citada Red ha permitido apoyar otros proyectos cartográficos emprendidos en la marisma del PND y puede continuar apoyando nuevos proyectos de esta naturaleza; pero su utilidad reside también en que aporta un número elevado de puntos materiales de cota ortométrica conocida, localizables por elementos materiales en la marisma, que permiten levantar operaciones topográficas específicas a partir de ellos en los diferentes parajes que puedan necesitarlo; como, p. e., el cono de sedimentación del arroyo del Partido en la marisma de El Rocío, o en la montaña del río en el entorno del Guadalquivir, o en otros lugares en los que por la aleatoriedad de los eventos meteorológicos o hidráulicos se pueda requerir. Presenta especial importancia el trabajo de elaboración de un mapa de ondulación del área que se comenta, porque su existencia permite realizar levantamientos topográficos precisos en ella utilizando un DGPS. Por todo ello, se recomienda el cuidado anual de la Red, para registrar la información que la misma puede suministrar y para reparar los desperfectos que se hayan podido ocasionar en ella en dicho periodo; porque el beneficio esperable de la Red es tanto mayor, cuanto más tiempo se le mantenga activa.

En relación con los procesos de erosión-sedimentación en la marisma, en especial en sus elementos singulares, lucios y caños, se detecta una ligera erosión en sus cotas más altas situadas en sus extremos y una ligera sedimentación en las más bajas de sus zonas centrales;

pero el efecto está muy condicionado por los niveles de las inundaciones estacionales de la marisma y la tendencia general de ésta es a conservar su morfología. Las lecturas de enrase de la solera de la marisma en los instrumentos de medida instalados en ella (hito-fenos y escalas), que en algunos de ellos alcanza una serie de dieciocho años, evidencian que en los años húmedos la solera de la marisma se eleva ligeramente, tendiendo a la uniformidad; mientras que en los años secos ocurre lo contrario recuperando su relieve; la textura entre limoso-arcillosa y arcillosa del lecho de los lucios y caños es uno de los principales causantes de este efecto. Cuando la marisma se mantenía en su estado natural, es decir, cuando estaba abierta; su relieve, aunque fuera ligeramente variable de un año para otro, conservaba permanentemente sus elementos singulares; por otro lado, la alteración que ha sufrido la marisma en los últimos años, en los que ha coexistido con sus muros perimetrales, no ha sido significativa. Sin embargo, la apertura exterior de la marisma es conveniente para su propia auto-limpieza en lo que se refiere a los procesos estudiados en este artículo y por otras razones de índole hidráulica e hidrológica que rebasan el contenido del mismo, que se ha limitado al seguimiento de la solera de la marisma.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Organismo Autónomo Parques Nacionales OAPN y a la Red de Espacios Naturales Protegidos RENPA de la Junta de Andalucía la financiación del proyecto objeto de este artículo. Se reconoce de un modo especial a Carlos Urdiales Alonso, Técnico del Área de Conservación del PND, y a los componentes de su equipo Abel Valero Lancho y Ricardo García Díaz por su colaboración durante la ejecución del mismo; así como también a la Dirección, Técnicos y Guardería del Espacio Natural de Doñana, que nos han proporcionado su ayuda cuando lo hemos necesitado.

Por último, se mencionan a los alumnos de la Escuela T. S. de Ingenieros de Montes de la

UPM, Verónica Serrano Doncel; Víctor Manuel Cicuéndez López Ocaña; Nur Algeet Abarquero; Fernando Cremades Oñoro; Marcos Blanquer Rodríguez; Alfonso Andrade Otero y

Juan Ángel de Gracia Triviño, que en alguno de los veranos del periodo en el que se ha desarrollado el proyecto comentado en este artículo han colaborado en sus trabajos de campo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRESSIE, N. A. C. (1993) *Statistics for Spatial Data*. Wiley, 900 pp., New York
- GOOVAERTS, P. (1999) Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma* 89, 1–45. U. K.
- INSTITUTO DE CARTOGRAFÍA DE ANDALUCÍA (ICA) [en línea], Correcciones diferenciales GPS de referencia en formato RINEX. Proyecto Red Andaluza de Posicionamiento (RAP) que se establece en colaboración con el Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía de la Universidad de Cádiz. Disponible en World Wide Web: <<http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/redandaluzadeposicionamiento/rap/>>
- LEICA GEO OFFICE VERSIÓN 6.0.0.0 (2007) Instrucciones de uso y archivos de ayuda del software, incluidos en la documentación habitual con la compra del instrumental DGPS Leica de la serie GPS1200.
- MINTEGUI AGUIRRE, J. A. & ROBREDO SÁNCHEZ, J. C. (2001) Bases para la elaboración de un modelo del terreno de la marisma del Parque Nacional de Doñana. (Trabajos topográficos y de estimación de la sedimentación), 244 pp. Serie Técnica, Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- 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.; ROBREDO SÁNCHEZ, J. C. & ELORRIETA JOVE, J. (2008) Análisis del comportamiento de la solera de la marisma del Parque Nacional de Doñana durante el periodo 1995-2006. Resumos 6ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica. Sección: Alterações Climáticas, pp. 57-58, 11-14 de fevereiro, Tomar (Portugal).
- NÚÑEZ, M. A.; MARTÍN, A.; GIL, J. A. & ANQUELA, A. B. (2008) High-precision geoid determination in small areas: a case study in Doñana National Park (Spain). *Stud. Geophys. Geod.*, 52, 361–380 361
- 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.; GONZALO ARANO, C. de & HUELIN RUEDA, P. (2010) Memoria Final del Proyecto de ampliación seguimiento y actualización del modelo sedimentario de la marisma del Parque Nacional de Doñana, 223 pp., Informe complementario y 5 Anexos. Espacio Natural de Doñana-Parque Nacional de Doñana. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Departamento de Ingeniería Forestal, Unidad de Hidráulica e Hidrología, Universidad Politécnica de Madrid
- ROBREDO, J. C.; MINTEGUI, J. A.; GONZALO ARANO, 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, poster, IAHS-HW07 Hydro-Geomorphology, 28 June-7 July, Melbourne (Australia).

- ROBREDO SÁNCHEZ, J. C.; MINTEGUI AGUIRRE, J. A.; GONZALO ARANO, C. de; HUELIN RUEDA, P. & GARCÍA VIÑAS, J. I. (2011) Adenda a la Memoria Final del Proyecto de ampliación seguimiento y actualización del modelo sedimentario de la marisma del Parque Nacional de Doñana. Trabajos de Mantenimiento, 100 pp., Espacio Natural de Doñana-Parque Nacional de Doñana. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Departamento de Ingeniería Forestal, Unidad de Hidráulica e Hidrología, Universidad Politécnica de Madrid
- 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, 201 pp., Ministerio de Medio Ambiente.