

Evolución del suelo y vegetación en zonas restauradas de las Marismas de Doñana, en presencia y ausencia de ganadería

L.V. GARCÍA¹, L. FALCES¹, E. GUTIÉRREZ¹, J.L. ESPINAR¹, J.S. CARA¹ & M.C. FLORIDO²

¹ Departamento de Geoecología, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (CSIC). P.O. Box 1052, E-41080 Sevilla, España.

² Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, EUITA. (Universidad de Sevilla). Ctra. de Utrera, Km. 1. CP: 41013. Sevilla, España.

Resumen

Se evalúan los efectos de las obras de restauración en los suelos y en la cubierta vegetal en las áreas más elevadas de la Marisma Gallega (parcialmente drenada hace 30 años), a partir de datos obtenidos dentro y fuera de cercados dispuestos en zonas afectadas y no afectadas por las obras de restauración, así como determinar la evolución de algunos parámetros del suelo y de la cubierta vegetal transcurridos uno y dos años desde la finalización de las últimas obras de restauración efectuadas en la zona, en el marco del Plan Doñana 2005.

Los resultados indican que existen diferencias significativas en las características químicas del suelo entre las zonas restauradas y las zonas control, particularmente en los niveles de salinidad y en la relación de adsorción de sodio, muy superiores en las zonas restauradas. Entre los efectos observados de las obras en las características cuantitativas de la cubierta vegetal cabe destacar la merma de un 65 % en la producción de biomasa herbácea aérea total media por unidad de superficie en las zonas restauradas, con respecto a las zonas control aledañas en las mismas condiciones, tanto de exposición como de no exposición al ganado. En cuanto a la cubierta leñosa se observó una ausencia total de la misma en las zonas de arrastre de materiales y una lenta regeneración en las zonas de relleno (antiguos canales).

En lo que respecta a la incidencia del ganado en la evolución del suelo y vegetación de las zonas restauradas, no se han observado diferencias significativas en las características químicas superficiales del sustrato, aunque sí en la morfología superficial del mismo. En la cubierta vegetal se observa una merma significativa de la biomasa herbácea total en las zonas expuestas a la acción del ganado que consume, hasta mediados de primavera, el 50% de la producción herbácea total en las zonas control, y el 75% de la misma en las zonas restauradas.

Abstract

We have studied the effect of restoration practices on soil and plant cover in banks of wetland areas surrounding the Doñana National Park, which had formerly been partially drained for agricultural purposes (for further details, see another related communication in these same proceedings). We used 6 100m² fenced and 6 100m² unfenced plots to evaluate the effect of cattle on the regeneration process, since previous studies (García *et al.* 2003) suggested that a high cattle pressure might be responsible for the observed low regeneration rates of plant communities in the restored areas. We measured 13 soil variables, bare soil, plant cover (woody species), and aerial biomass (for herbaceous species) along the two years following the restoration.

We found that sites affected by restoration practices — both ‘dug sites’ (whose topsoil was used as a filling material for drainage channels) and the refilled channels — had a topsoil and a plant cover significantly different from control (natural) sites. Soil salinity, sodium-adsorption ratio, and flooding frequency (because restored areas are slightly depressed) were significantly higher in restored areas. Both woody and herbaceous cover were much higher in control sites: herbaceous standing crop being about 3x that of restored areas in control sites.

No significant differences were found in any of the soil chemical properties measured in fenced and unfenced plots, although highly significant differences were found in herbaceous standing crop. Some interaction between cattle presence and restoration practices was found, since herbaceous production in control sites was reduced by an average 50% in the exposed plots of control areas relative to the fenced plots, and in restored areas we measured an average reduction of 75%. The higher frequency and size of *Arthrocnemum* shrubs in control sites provide a better refuge for palatable herbaceous plants, and explain the better preservation of the herbaceous production in those sites

Introducción

La zona de estudio, situada junto al límite norte del Parque Nacional de Doñana, dentro del término municipal de Hinojos (Huelva), se describe con más detalle en otra comunicación presentada a este Congreso (García *et al.* 2006). En el marco de los planes de puesta en cultivo de amplias zonas de las marismas del Guadalquivir (Grande, 1967; FAO, 1970), la zona fue parcialmente drenada a principios de los años 70, quedando desde entonces recorrida por una red de canales a cielo abierto, si bien, al no completarse la transformación en su integridad mantuvo -en gran medida- su microtopografía y vegetación originales, quedando sujeta a aprovechamiento ganadero en lugar de agrícola (Camacho, García y Villa, 1996).

Con vistas a su regeneración, se efectuó un primer estudio en 1996 para evaluar los cambios más significativos ocurridos en el suelo y vegetación de la zona, tras 25 años de aislamiento hidrológico y drenaje artificial, observándose cambios especialmente significativos en el suelo y vegetación de las depresiones someras (caños y lucios con escasos decímetros de profundidad de la lámina de agua) y,

mucho menores, en las zonas relativamente poco inundables, ocupadas por quenopodiáceas leñosas (*Arthrocnemum*, *Suaeda*).

A resultas de este primer estudio se iniciaron obras de restauración en 1996 y 1997, especialmente orientadas al cegamiento de canales que drenaban cauces y depresiones naturales. La superficie total directa o indirectamente afectada por dichas obras se aproximó 50 hectáreas, considerando tanto la correspondiente a los propios canales colmatados ('zonas de relleno', menos de un 20% de la superficie total afectada), como las zonas en las que se excavó y arrastró el suelo natural para utilizarlo como material de relleno de los canales y las aledañas recorridas por las máquinas). Posteriormente, a raíz de la aprobación del Proyecto Doñana 2005 (MMA, 1999), se procedió a la práctica eliminación del sistema de canales de drenaje –fundamentalmente durante los años 2000 y 2001- generándose una red de zonas alteradas siguiendo el trazado de los antiguos canales, en la que se distinguen claramente una zona central ('de relleno') flanqueada por dos bandas de préstamo (o arrastre) de materiales. Las medidas efectuadas en las áreas que recibieron aporte de materiales (zonas de relleno) arrojan resultados de entre 8 y 10 m² de extensión por metro lineal de canal terciario cegado, y 16-20 m² por cada metro lineal de canal secundario cegado. Las zonas de préstamo representan entre 20-35 m²/m y entre 70-90 m²/m, respectivamente (García *et al.* 2003; Falces 2005).

En conjunto, las áreas afectadas de diversas formas por las obras de restauración representan entre el 10 y el 15% de la extensión total de la zona de estudio y, por tanto, su evolución es muy relevante para el conjunto de la misma. Tratándose, además, de la restauración de la vegetación en un área de alto valor faunístico y con alta carga ganadera es importante evaluar la evolución de la capacidad de los espacios restaurados para suministrar alimento a los consumidores primarios que en ellos habitan.

Los estudios efectuados a partir de otoño de 2001 sobre la evolución de los suelos y vegetación en las zonas que fueron primeramente restauradas (en 1996/97) y las diferencias detectadas entre las áreas intervenidas a partir de 2000 y las áreas control aledañas (véase García *et al.* 2006), plantearon la duda de en qué medida la lentitud observada en el desarrollo de la cubierta vegetal de las zonas intervenidas y en la convergencia de sus características fitoedáficas con la de las zonas control, al cabo de 4-5 años, se debía a las diferencias observadas en el régimen hidrosalino de ambas (véase García *et al.* 2006) y en qué medida se relacionaba con otros factores incidentes, como la elevada carga ganadera existente en la zona..

Con objeto de evaluar la importancia de ambos efectos, se estudió a la evolución del suelo y vegetación en áreas protegidas de la acción del ganado y en áreas expuestas al mismo, tanto en zonas control como intervenidas, en diferentes posiciones fisiográficas (zonas elevadas y deprimidas). Aquí se analizan sólo los resultados correspondientes a las zonas elevadas (Falces, 2005).

Material y métodos

Se han estudiado las características del suelo y la vegetación en parcelas de 100 m² de extensión, protegidas de la acción de los herbívoros mediante una malla metálica de 2.0 m de altura, emplazadas en posiciones fisiográficas relativamente elevadas de

la Marisma Gallega, junto a antiguos canales terciarios, tanto en zonas afectadas por las obras de regeneración (bien por arrastre o por aporte de materiales) como en zonas no intervenidas (control), véase García *et al.* 2006 para una descripción más detallada de las distintas situaciones. En estado inalterado las zonas estudiadas se caracterizan por su inundabilidad relativamente baja y por presentar una cubierta leñosa dominada por *Arthrocnemum macrostachyum*, siendo de gran importancia local porque acogen y sustentan a los herbívoros terrestres (fundamentalmente ganado) durante la estación húmeda y constituyen el grueso (>70%) de la superficie afectada por las obras de restauración. A 10-30 metros de distancia de los cercados antes descritos se delimitaron otras tantas parcelas, de idénticas características, pero expuestas a la acción de los herbívoros. El diseño resultante, replicado, generó 12 unidades de muestreo (3 situaciones –control, arrastre y relleno- x 2 niveles de influencia de herbívoros x 2 réplicas), muestreadas durante los años 2002 y 2003.

En cada unidad de muestreo los datos de biomasa herbácea aérea se obtuvieron a partir de cuadrados de 0.5 x 0.5 dispuestos al azar. En cada uno de ellos se recolectó hasta el nivel del suelo toda la biomasa epigea se separó por especies, se secó a 70°C, durante 48-72 horas y se determinó el peso con una precisión de 0.01 g. Los valores de biomasa herbácea se agruparon en dos categorías: especies herbáceas perennes (sólo *Scirpus maritimus*) y especies anuales, con cuatro subcategorías (*leguminosas*, *gramíneas*, *compuestas* y *otras*). Los resultados se expresan, en todos los casos, en gramos de biomasa aérea seca cosechada en 0.25m².

En los mismos cuadrados de 0.25 m² de superficie: 1) se estimó visualmente, antes de proceder a la corta, la fracción del terreno correspondiente a especies leñosas, a especies herbáceas y a suelo descubierto, en tramos del 5%, por acuerdo entre dos observadores diferentes y 2) se muestreó el horizonte superficial del suelo (0-10 cm).

Las muestras de suelo se prepararon (molienda-tamizado por 2mm) y analizaron de acuerdo con los métodos y recomendaciones generales contenidas en Sparks (1996). Se han determinado un total de 13 variables edáficas, la mayor parte en extractos acuosos 1/5: pH, conductividad eléctrica e iones solubles en agua (sodio, potasio, calcio, magnesio, sulfatos, cloruros y alcalinidad), carbono orgánico, N (Kjeldahl), P (Olsen) y carbonatos precipitados en el suelo. Durante las campañas de muestreo, realizadas en el mes de mayo, y en otros momentos de la estación húmeda se registró la presencia (y en su caso el espesor) de lámina de agua libre en la superficie del suelo. La significación de las diferencias entre distintos tratamientos se contrastaron mediante los tests (no paramétricos) de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis empleando el programa. Dado el elevado número de tests llevados a cabo simultáneamente, se han evaluado los resultados de los tests individuales admitiendo una proporción de falsos positivos (FDR) de hasta el 5% (García, 2003).

Resultados

Las observaciones simultáneas de inundación superficial indican que, en los segmentos de canales terciarios estudiados, la diferencia máxima en el espesor de la lámina de agua entre las zonas control (no intervenidas) y las zonas de relleno (canales cegados) alcanzó los 15 cm, siendo el promedio durante la estación húmeda

de 8 cm. En el caso de las zonas de arrastre las diferencias con respecto a las zonas de relleno fueron menores: 4 cm, en promedio, con un máximo de 9 cm. Claramente, el perfil cóncavo y la situación relativamente deprimida de las zonas de relleno favorecen la acumulación de agua con relación a las zonas control colindantes. En las zonas y periodos estudiados únicamente se registró presencia significativa de agua libre en superficie (>5 cm espesor y > 2 meses) en las zonas restauradas, pero no en las zonas control. Estos datos confirman los de un estudio extensivo preliminar (García *et al.* 2003), que atribuyó parte de las diferencias observadas en características del suelo que condicionan el establecimiento de la vegetación propia de las zonas elevadas de la marisma en las áreas restauradas, a diferencias en el régimen hidrosalino debidas a los desniveles residuales existentes entre las zonas intervenidas y las zonas control.

La comparación entre los valores de las variables edáficas medidos en las zonas control y en las zonas restauradas en 2000 (tanto en suelos expuestos como protegidos de la acción del ganado) lleva a la conclusión de que las características químicas superficiales de ambas difieren significativamente en los dos años estudiados (tablas 1 y 3) al igual que las de la cubierta vegetal (tablas 2 y 3).

En general, las diferencias observadas a nivel edafológico concuerdan con las halladas en un estudio previo más extensivo (García *et al.* 2003, 2006), dado que: 1) los suelos de las zonas restauradas tienden a presentar contenidos inferiores de C y N y una mayor proporción de suelo descubierto y 2) los contenidos de sales solubles son significativamente más elevados en las zonas restauradas que en las zonas control. Esto es cierto tanto para las zonas de préstamo (en las que, al eliminarse los horizontes superficiales para emplearlos como material de relleno, se han dejado al descubierto horizontes subsuperficiales muy salinos) como para las zonas de aporte (o “relleno”) en las que pese a haber sido colmatadas con materiales superficiales relativamente poco salinos, tienden a comportarse como sumidero de agua y sales, que se acumulan tras la evaporación del agua superficial. Traducidos a valores de extracto de pasta saturada, las zonas de préstamo o arrastre presentan, al final de la estación húmeda valores entre 15 y 21 dS/m (muy fuertemente salinos); las de relleno valores próximos a 10 dS/m (fuertemente salinos) y las zonas control valores inferiores al límite establecido para suelos salinos (4 dS/m). Por tanto, los suelos de las zonas restauradas sólo pueden ser colonizados por un número limitado de especies muy tolerantes a la salinidad (y/o inundación), mientras que los de las zonas control puede serlo por un elevado número de especies herbáceas, generando pastizales diversos con hasta 26 especies en 0.25m².

Tabla 1. Media y desviación estándar de las variables edáficas medidas en el horizonte superficial durante la primavera de 2002 y 2003, calculada para los distintos niveles de los dos factores estudiados (intervención y ganado).

	ZONAS CONTROL		ZONAS RESTAURADAS			
	Protegidas	Expuestas	Áreas de préstamo		Áreas de aporte	
			Protegidas	Expuestas	Protegidas	Expuestas
2002						
pH	8.3 ± 0.2	8.2 ± 0.2	8.1 ± 0.1	8.0 ± 0.1	8.0 ± 0.07	8.0 ± 0.1
Carbonatos (%)	10.8 ± 3.2	10.8 ± 2.1	11.9 ± 4.0	12.2 ± 2.6	12.3 ± 3.8	11.4 ± 2.5
C (%)	1.51 ± 0.38	1.25 ± 0.30	0.56 ± 0.18	0.78 ± 0.27	0.73 ± 0.10	0.76 ± 0.29
N (%)	0.15 ± 0.03	0.13 ± 0.02	0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.02	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.02
P (mg/kg)	24 ± 8	19 ± 8	25 ± 3	28 ± 4	29 ± 7	31 ± 10
K ⁺ (mg/kg)	78 ± 33	77 ± 36	250 ± 68	300 ± 104	160 ± 49	187 ± 68
Na ⁺ (mg/kg)	399 ± 118	435 ± 109	2736 ± 841	3396 ± 1144	1385 ± 605	1543 ± 646
Ca ⁺⁺ (mg/kg)	101 ± 35	90 ± 36	338 ± 115	497 ± 145	309 ± 138	415 ± 278
Mg ⁺⁺ (mg/kg)	75 ± 33	70 ± 35	171 ± 65	301 ± 139	146 ± 104	177 ± 146
Cl ⁻ (mg/kg)	608 ± 210	761 ± 253	4623 ± 1591	6721 ± 1945	2171 ± 1203	2360 ± 1096
SO ₄ ⁼ (mg/kg)	124 ± 31	131 ± 55	1730 ± 744	1734 ± 678	1445 ± 561	1955 ± 1339
Alcalinidad (mmol/l)	1.94 ± 0.47	1.86 ± 0.77	0.73 ± 0.14	0.72 ± 0.14	0.85 ± 0.20	0.89 ± 0.14
CE (dS/m)	0.42 ± 0.09	0.51 ± 0.13	3.34 ± 1.05	4.45 ± 1.23	1.81 ± 0.83	2.06 ± 1.12
RAS (mmol/l) ^{1/2}	5.05 ± 2.34	7.28 ± 3.23	14.1 ± 3.02	12.6 ± 1.49	8.23 ± 1.31	8.71 ± 1.98
2003						
pH	8.0 ± 0.2	8.0 ± 0.3	8.0 ± 0.1	8.0 ± 0.2	7.9 ± 0.1	7.9 ± 0.1
Carbonatos (%)	8.6 ± 3.2	9.9 ± 3.2	11.1 ± 2.7	11.8 ± 2.5	10.4 ± 2.9	12.1 ± 3.2
C (%)	1.5 ± 0.4	1.3 ± 0.3	0.6 ± 0.2	0.8 ± 0.3	0.7 ± 0.1	0.8 ± 0.3
N (%)	0.18 ± 0.05	0.18 ± 0.02	0.09 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0.02
P (mg/kg)	17 ± 11	23 ± 12	16 ± 2	22 ± 5	30 ± 5	31 ± 5
K ⁺ (mg/kg)	92 ± 21	117 ± 33	206 ± 63	254 ± 23	194 ± 74	44 ± 22
Na ⁺ (mg/kg)	525 ± 248	934 ± 431	2680 ± 809	2398 ± 497	1687 ± 731	1958 ± 1112
Ca ⁺⁺ (mg/kg)	85 ± 41	133 ± 76	290 ± 131	290 ± 135	352 ± 217	405 ± 405
Mg ⁺⁺ (mg/kg)	52 ± 20	83 ± 64	181 ± 122	195 ± 125	186 ± 119	213 ± 142
Cl ⁻ (mg/kg)	707 ± 368	1653 ± 906	4542 ± 1606	4099 ± 985	2899 ± 1711	3316 ± 2040
SO ₄ ⁼ (mg/kg)	129 ± 65	232 ± 152	1347 ± 638	918 ± 260	1200 ± 699	1052 ± 517
Alcalinidad (mmol/l)	1.78 ± 0.28	1.47 ± 0.27	0.95 ± 0.17	1.06 ± 0.17	0.97 ± 0.27	1.17 ± 0.12
CE (dS/m)	0.56 ± 0.24	1.09 ± 0.51	3.14 ± 0.96	2.81 ± 0.54	2.19 ± 1.20	2.28 ± 2.28
RAS (mmol/l) ^{1/2}	3.30 ± 0.76	3.93 ± 1.46	13.55 ± 3.19	13.54 ± 4.38	7.25 ± 1.54	7.36 ± 1.28

En lo que se refiere a las características cuantitativas de la cubierta vegetal las zonas elevadas restauradas presentaron un recubrimiento vegetal total inferior y una proporción de suelo descubierto significativamente superior a la medida en las zonas control (tablas 2 y 3). La proporción de suelo descubierto es especialmente elevada (70-90%, a los dos años de ser intervenidas) en las zonas de arrastre, en las que se decapitó el suelo para rellenar canales.

La *cubierta herbácea anual* aparece menos desarrollada en las zonas intervenidas que en las control, especialmente por el fuerte descenso de las herbáceas terrestres, que no se compensa con el ligero incremento en la abundancia de anuales acuáticas (tablas 2 y 3), que resulta de su mayor probabilidad de inundación de las zonas de relleno. Destaca asimismo la presencia de helófitos en estas últimas, lo que corrobora lo previamente razonado en relación a los desniveles generados por las obras y sus previsible efectos en la composición de la cubierta vegetal.

En lo que respecta a especies anuales terrestres los resultados sugieren que existen diferencias muy significativas ($p < 0.01$) entre la producción de biomasa por parte de las principales familias del pastizal (gramíneas, compuestas y leguminosas), entre las zonas control y las zonas intervenidas. No obstante, las diferencias son mucho más marcadas entre las zonas control y las áreas de préstamo, lo que incide en el hecho de que las zonas naturales se asemejan más, en algunas variables, a los

antiguos canales colmatados que a las áreas naturales que ha sido devastadas para llevar a cabo la restauración.

Tabla 2. Media y desviación estándar de variables medidas en la cubierta vegetal durante la primavera de 2002 y 2003, calculadas para los distintos niveles de los factores estudiados (tipo de intervención y exposición al ganado).

	ZONAS CONTROL		ZONAS RESTAURADAS			
	Protegidas	Expuestas	Áreas de préstamo		Áreas de aporte	
			Protegidas	Expuestas	Protegidas	Expuestas
2002						
Biomasa aérea (gr/0.25m²)						
Herbáceas	97.0 ± 57.8	32.4 ± 19.2	24.2 ± 23.4	5.4 ± 7.5	53.0 ± 38.5	13.8 ± 17.3
Perennes (helófitos)	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.08 ± 0.19	0.0 ± 0.0	3.3 ± 8.0	0.03 ± 0.07
Anuales	97.0 ± 57.8	32.4 ± 19.2	24.2 ± 23.5	5.44 ± 7.5	49.7 ± 41.7	13.7 ± 17.3
Acuáticas	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.06 ± 0.13	0.02 ± 0.04
Terrestres	97.0 ± 57.8	32.4 ± 32.4	24.2 ± 23.5	5.44 ± 7.5	49.7 ± 41.7	13.7 ± 17.3
Gramíneas	12.5 ± 35.2	7.9 ± 12.1	1.64 ± 2.6	1.31 ± 2.1	30.4 ± 20.9	9.7 ± 13.0
Leguminosas	57.8 ± 68.7	18.9 ± 16.6	0.00 ± 0.0	0.09 ± 0.2	11.5 ± 20.2	0.07 ± 0.32
Compuestas	22.1 ± 19.5	1.61 ± 2.0	0.20 ± 0.5	0.00 ± 0.0	0.8 ± 1.6	0.56 ± 2.30
Cobertura (%)						
Leñosas	19 ± 33	15 ± 31	0 ± 0	0 ± 0	12 ± 25	12 ± 29
<i>A. macrostachyum</i>	18 ± 32	15 ± 31	0 ± 0	0 ± 0	5 ± 18	7 ± 23
<i>S. perennis</i>	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	7 ± 18	5 ± 16
Suelo descubierto (%)	3 ± 6	19 ± 15	76 ± 23	93 ± 10	35 ± 23	77 ± 29
2003						
Biomasa aérea (gr/0.25m²)						
Herbáceas	72.2 ± 41.7	50.9 ± 22.3	38.1 ± 34.9	14.0 ± 12.7	72.5 ± 52.2	15.7 ± 7.6
Perennes (helófitos)	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	35.7 ± 44.6	3.1 ± 3.6
Anuales	72.2 ± 41.7	50.9 ± 22.3	38.1 ± 34.9	14.0 ± 12.7	36.8 ± 13.1	12.6 ± 9.8
Acuáticas	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.46	6.6 ± 7.3
Terrestres	72.2 ± 41.7	50.9 ± 22.3	38.1 ± 34.9	14.0 ± 12.7	36.4 ± 13.1	6.0 ± 8.0
Gramíneas	39.2 ± 39.8	23.8 ± 23.1	5.6 ± 8.4	9.4 ± 12.4	21.3 ± 13.7	5.5 ± 8.1
Leguminosas	6.9 ± 11.3	19.4 ± 22.2	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	3.9 ± 4.6	0.0 ± 0.0
Compuestas	25.3 ± 33.8	4.5 ± 10.3	0.1 ± 0.2	0.3 ± 0.5	1.1 ± 2.0	0.0 ± 0.0
Cobertura (%)						
Leñosas (%)	31 ± 41	21 ± 37	0 ± 0	0 ± 0	32 ± 38	20 ± 41
<i>A. macrostachyum</i>	31 ± 41	21 ± 37	0 ± 0	0 ± 0	14 ± 33	20 ± 41
<i>S. perennis</i>	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	19 ± 34	0 ± 1
Suelo descubierto (%)	2 ± 2	28 ± 24	59 ± 32	71 ± 26	21 ± 11	61 ± 36

Entre las especies leñosas es significativa la presencia de *Sarcocornia perennis* (tablas 2 y 3) en las zonas de relleno, dado que se trata de la quenopodiácea leñosa que mejor tolera la inundación de las tres detectadas en la zona de estudio, no habiéndose encontrado en la zonas control y de préstamo estudiadas.

De los datos de la tabla 4 se desprende que 1º) la producción herbácea aérea media de las zonas control se aproxima a 3500 Kg. de materia seca por hectárea (o 350 g/m²); 2º) el descenso medio en dicha producción resultante de la transformación un suelo inalterado en *área de préstamo* (o arrastre) ha sido de un 65%, aproximadamente, afectando al 100% de la producción potencial de leguminosas, al 99% de la producción debida a compuestas y al 85% de la de gramíneas. 3) el descenso medio de la producción herbácea aérea total en un *área de aporte* (o relleno) con relación a un área no alterada (control) se acerca al 30%, lo que apunta a un impacto mucho mayor en las áreas de préstamo.

Si se consideran los cálculos de García *et al.* (2003) que estiman entre 20 y 35 m² la extensión de zona de préstamo producida por cada metro lineal de canal terciario cegado y de 70-90 m², para el caso de los canales secundarios, la pérdidas de productividad pueden estimarse en 9 y 26 Kg. de biomasa herbácea seca, respectivamente, por metro lineal de cada tipo de canal (terciario, secundario) cegado en el transcurso de las obras. Los cálculos de Falces (2005), indican que el efecto de las obras de restauración sobre los suelos de las zonas elevadas de la Marisma Gallega utilizadas para el arrastre ó extracción de materiales, puede haber acarreado una pérdida próxima al 8,5% de la producción aérea anual del conjunto de las zona, lo que no es cuestión baladí en una zona con alta carga ganadera (3.7 cabezas de ovino, 2.6 de vacuno y 2 de caballo por hectárea ó 4.6 UGM, Camacho, García y Villa, 1996), añadida a los herbívoros silvestres, que tiende a concentrarse en las zonas elevadas durante gran parte del año.

Atendiendo a los datos de la tabla 5 (relativos al conjunto de las parcelas estudiadas, tanto en las zonas control como en las restauradas) no se aprecian diferencias significativas entre las características químicas superficiales de los suelos de las zonas que permanecieron expuestas a la acción del ganado y los que quedaron protegidas por cercados desde el verano de 2001, en ninguno de los dos años en los que se efectuaron medidas.

Hay que resaltar, sin embargo, las diferencias evidentes que se observan en la morfología superficial del suelo de las zonas sometidas a la acción del ganado, especialmente en las zonas restauradas lo que, probablemente, determine cambios en las características físicas superficiales del suelo, como la densidad aparente, que no han sido analizadas en el presente estudio, pero se han apuntado en otros anteriores (García *et al.* 2003).

En lo relativo a la cubierta vegetal se detecta (en el conjunto de las parcelas, restauradas o no) una reducción significativa de la biomasa asociada a especies anuales terrestres en las zonas expuestas al ganado. Esta reducción en, en términos relativos, mucho más drástica (70-80%) en las zonas restauradas que en las zonas control (50%), lo que se atribuye al efecto protector de la vegetación leñosa, muy poco desarrollada en las zonas restauradas. Las pérdidas estimadas en las zonas control son similares a las efectuadas por Soriguer *et al.* 2001 (60%) en el Parque Nacional.

Tabla 3. Resultados (p) de la aplicación del test U de Mann-Whitney a los datos de las distintas variables edáficas y de vegetación medidas en las parcelas sometidas a distinto tipo de intervención y en las parcelas control. Se señalan los valores que permanecieron significativos tras controlar la FDR al nivel del 5% (véase Métodos).

Variables edáficas	Control - zonas de préstamo		Control - zonas de aporte	
	2002	2003	2002	2003
pH	0.001	0.976	0.000	0.156
Carbonatos	0.143	0.076	0.035	0.016
C (ó N)	0.000	0.000	0.000	0.000
P	0.227	0.713	0.012	0.026
Ca ⁺⁺	0.000	0.000	0.000	0.001
Mg ⁺⁺	0.000	0.002	0.000	0.001
K ⁺	0.000	0.000	0.000	0.002
Na ⁺	0.000	0.000	0.000	0.000
Alcalinidad	0.000	0.000	0.000	0.000
Cl ⁻	0.000	0.000	0.000	0.002
CE	0.000	0.000	0.000	0.001
SO ₄ ⁼	0.000	0.000	0.000	0.000
RAS	0.000	0.000	0.000	0.000
Biomasa vegetal aérea				
Especies herbáceas	0.000	0.010	0.022	0.006
Perennes (helófitos)	0.703	1.000	0.098	0.018
Anuales	0.000	0.010	0.014	0.000
Acuáticas	1.000	1.000	0.098	0.000
Terrestres	0.000	0.010	0.013	0.000
Gramíneas	0.004	0.017	0.024	0.107
Leguminosas	0.004	0.001	0.001	0.012
Compuestas	0.004	0.001	0.000	0.001
Cobertura vegetal				
Especies leñosas	0.007	0.029	0.660	0.717
<i>A. macrostachyum</i>	0.007	0.028	0.045	0.578
<i>S. perennis</i>	1.000	1.000	0.000	0.005
Suelo descubierto	0.000	0.000	0.000	0.003

Tabla 4. Producción media de biomasa herbácea (Kg. de materia seca por ha) en zonas control e intervenidas protegidas de la acción del ganado. Los datos de 2004 son parciales.

	Producción herbácea aérea		
	2002	2003	2004
Control	3881	2888	3611
Préstamo	969	1526	936
Aporte	2120	2899	2106

Tabla 5. Comparación estadística (resultado del test U de Mann-Whitney) de los valores de las variables edáficas y de la cubierta vegetal medidos en zonas protegidas y expuestas a la acción del ganado. Las diferencias significativas se resaltan en negrita. Los datos medios correspondientes a cada año y situación se muestran en las tablas 1 y 2.

Variables edáficas	2002	2003
pH	0.464	0.704
CO ₃ ⁼	0.602	0.217
C (ó N)	0.827	0.296
P	0.699	0.100
Ca ⁺⁺	0.637	0.527
Mg ⁺⁺	0.490	0.825
K ⁺	0.866	0.393
Na ⁺	0.625	0.591
Alc	0.820	0.874
Cl ⁻	0.414	0.375
CE	0.439	0.548
SO ₄ ⁼	0.814	0.874
RAS	0.866	0.658
Biomasa herbácea	0.001	0.017
Cobertura leñosa	0.955	0.864
Suelo descubierto	0.053	0.054

Conclusiones

- Aunque existe un efecto muy significativo de las obras en las características químicas del suelo, particularmente en los niveles de salinidad y RAS superficiales -muy superiores en las zonas restauradas- no se observaron diferencias significativas asociadas a la exclusión o no de los herbívoros.
- Las obras de restauración mermaron de forma significativa la cubierta vegetal de las zonas utilizadas como fuente de materiales de relleno del sistema de canales. En los primeros años de la intervención, la decapitación de los suelos de las zonas de arrastre arruinó más del 8% de la producción

global del pastizal en la finca restaurada. A nivel cualitativo, la total desaparición de la producción asociada a leguminosas en las zonas excavadas contrastó con su importancia en las zonas no intervenidas (40% del total de la producción total del pastizal).

- El efecto del ganado sobre la vegetación herbácea fue mucho más devastador en las zonas intervenidas (consumiendo, al final de la estación húmeda, el 75% de la producción herbácea total) que en las zonas naturales (donde sólo llegó a consumirse el 50%), lo que se atribuyó al efecto protector de la cubierta leñosa, la cual resultó destruida en las zonas de arrastre.

Referencias

- Camacho, J., García, L.V. & Díaz, A. (1996). Criterios y bases ecológicas para la regeneración de la Marisma Gallega. TYPMA-Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla.
- FAO (1970) Proyecto de utilización de aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir. Anteproyecto de transformación en regadío Almonte-Marismas (margen derecha). Anejos V-3: Drenaje zona de marismas, 8pp. y V-2: Saneamiento zona de marismas.
- Falces, L. (2005). Evolución del suelo y vegetación en zonas restauradas de las marismas de Guadalquivir. Efectos de la ganadería. Trabajo fin de carrera. EUITA, Universidad de Sevilla. Sevilla.
- García L.V. (2003). Controlling the false discovery rate in ecological studies. *Trends in Ecology and Evolution* 18:553-554.
- García, L.V. *et al.* (2003). Efectos de las obras de regeneración en el medio físico y vegetación natural de la Marisma Gallega (Parque Natural de Doñana). Departamento de Geoecología. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (CSIC). Memoria inédita.
- García, L.V., Gutiérrez, E., Espinar, J.L., Cara, J.S., Camacho, J., Jordán, A., & Clemente, L. (2006). La restauración de la Marisma Gallega (Parque Natural de Doñana): efectos en las características superficiales del suelo. En: Bellinfante, N., Gómez, A., Jordán, A., Martínez-Zavala, L. (eds.). *Actas del II Congreso Ibérico de la Ciencia del Suelo 2006*. Sevilla. Pp: 64.
- Grande, R. (1967). Las marismas del Guadalquivir y su rescate. *Estudios* vol. V, nº 29. Instituto Nacional de Colonización. Madrid.
- MMA (1999). Documento Marco para el desarrollo del Proyecto Doñana 2005. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Soriguer, R., Rodríguez, A., & Domínguez, L. (2001). Análisis de la incidencia de los grandes herbívoros en la marisma y vera del Parque Nacional de Doñana. Ministerio de Medio Ambiente. O.A. Parques Nacionales. Serie Técnica. Madrid.
- Sparks, D.L. (ed.) (1996). *Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods and processes*. Soil Sci. Soc. Am. Book Series 5. SSSA. Madison.

