

2008; Fässler *et al.*, 2010), no podemos llevar a cabo dichas acciones sin asegurarnos que el maíz no va a ser utilizado como forraje, sino únicamente con fines remediadores.

CONCLUSIONES

Las hojas del maíz son susceptibles de acumular una gran cantidad de metales pesados cuando el cultivo crece en suelos con un “cóctel” de los mismos. Las características del suelo, como el pH, así como la cantidad de metales en los mismos, determinan la capacidad de bioacumulación del maíz, de manera que, en general, retiene mayor cantidad de metales si es cultivado en suelos en los que su concentración es más elevada. Aunque esta concentración es mayor en las raíces, su alta presencia en las hojas resulta preocupante, ya que puede afectar negativamente a la salud del ganado cuando son suministradas en su dieta.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto CTM 2008-04827/TECNO del Ministerio de Ciencia e Innovación y al Programa P2009/AMB-1478^a (EIADES, de la CM).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FÄSSLER E., ROBINSON B.H., STAUFFER W., GUPTA S.K., PAPRITZ A. Y SCHULIN R. (2010) Phytomanagement of metal-contaminated agricultural land using sunflower, maize and tobacco. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **136**, 49-58.
- HERNÁNDEZ A.J. Y PASTOR J. (1989) Técnicas analíticas para el estudio de las interacciones suelo-planta. *Henares. Revista de Geología*, **3**, 67-102.
- HERNÁNDEZ A. J. Y PASTOR J. (2008) Relationship between plant biodiversity and heavy metal bioavailability in grasslands overlying an abandoned mine. *Environmental Geochemistry and Health*, **30**, 127-133.
- HERNÁNDEZ A.J. Y PASTOR J. (2011) *El impacto ambiental de la minería y de los residuos urbanos e industriales. Sensibilización Científica y Desafíos para la ciudadanía dominicana*. Santo Domingo, República Dominicana: Centro Cultural Poveda.
- HERNÁNDEZ A.J., BONILLA S. Y PASTOR J. (2011) *Manejo de recursos naturales y desarrollo local en una reserva de la biosfera. Resultados de la investigación ecosocial en Pedernales – República Dominicana*. Santo Domingo, República Dominicana: Centro Cultural Poveda.
- HERNÁNDEZ-ALLICA J., BECERRIL J.M. Y GARBISU C. (2008) Assessment of the phytoextraction potential of high biomass crop plants. *Environmental Pollution*, **152**, 32-40.
- KABATA-PENDIAS A. Y MUKHERJEE A.B. (2007) *Trace Elements from Soil to Human*. Berlin and Heidelberg, Alemania: Springer-Verlag.
- LUO C., SHEN Z. Y LI X. (2005) Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS. *Chemosphere*, **59**, 1-11.
- MADEJÓN P., DOMÍNGUEZ M. Y MURILLO J.M. (2009) Evaluation of pastures for horses grazing on soils polluted by trace elements. *Ecotoxicology*, **18**, 417-428.
- PASTOR J. Y HERNÁNDEZ A.J. (2009) La restauración en sistemas con suelos degradados: estudios de casos en vertederos, escombreras y emplazamientos de minas abandonadas. En: Millán R. y Lobo C. (eds) *Contaminación de Suelos: Tecnologías para su recuperación*, pp. 539-560. Madrid, España: CIEMAT.

Cambios mediados por abandono de pastoreo e incremento de temperatura en pastos mediterráneos oligotrofos del Parque Natural de Doñana

Changes in oligotrophic mediterranean grassland induced by abandonment and warming in Doñana National Park

B. OJEDA DOMÍNGUEZ / M.J. LEIVA MORALES

Departamento de Biología Vegetal y Ecología. Facultad de Biología. Universidad de Sevilla. Avenida Reina Mercedes s/n. 41012 Sevilla (España) benjaminestudy@hotmail.com

Resumen: Se han estudiado los cambios en el pasto (riqueza específica, diversidad, producción, importancia de grupos funcionales) y en el establecimiento de leñosas mediados por cese de aporte de estiércol e incremento de temperatura, en el Parque Natural de Doñana. El estiércol espontáneamente producido se redistribuyó en parcelas (dosis: 0 y 3 200 g MS de estiércol vacuno/m²). La temperatura se incrementó (0,8 °C) mediante cámaras-invernadero. El establecimiento del matorral (*Cistus salvifolius*), se estudió aportando semillas en subparcelas (10 000 semillas/m²). La riqueza específica y diversidad del pasto no se afectaron significativamente por los tratamientos. La biomasa (72 g/m²-234 g/m²) se incrementó por aumento de temperatura (P=0,006) y estiércol (P=0,002). Distintos grupos funcionales de herbáceas exhibieron diferentes respuestas: las gramíneas se incrementaron sólo por temperatura (P=0,003), las leguminosas se incrementaron sólo por estiércol (P=0,02). La densidad de plántulas de matorral (70 plántulas/m²-1 053 plántulas/m²) solo aumentó en el tratamiento con alta temperatura y sin estiércol ($\chi^2=10,45$; P=0,015). Se sugiere que los pastos oligotróficos Mediterráneos tras abandono del pastoreo podrían experimentar tasas de cambio mayores de las actuales en el marco del calentamiento global.

Palabras clave: Estiércol vacuno, diversidad vegetal, calentamiento global, *Cistus salvifolius*, grupos funcionales.

Abstract: Changes in grasslands (species richness, diversity, productivity and contribution of different plant functional groups) and shrubs establishment induced by removal of cattle manure and temperature increases have been studied in Doñana National Park. Manure spontaneously produced in field was redistributed in experimental plots (0 and 3 200 g MS cattle manure/m²). Air temperature was increased (0.8 °C) by establishing open-top chambers. Shrub (*Cistus salvifolius*) establishment was studied by providing seeds in sub plots (10 000 seeds/m²). Species richness and diversity were not significantly affected by treatments. Grassland biomass (72 g/m²-234 g/m²) increased by increasing temperature (P=0.006) and manure addition (P=0.002). Different plant functional groups exhibited different responses: Grasses increased by temperature (P=0.003) but not by manure, Legumes only increased by manure (P=0.02). Shrub seedlings density only increased significantly ($\chi^2=10.45$, P=0.15) under high temperature without manure. Results suggest that oligotrophic Mediterranean grassland after grazing abandonment and global warming could experience higher rate of changes than currently observed.

Key words: Cattle manure, plant diversity, global warming, *Cistus salvifolius*, functional group.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 20 años se ha producido en toda Europa un notable abandono de la ganadería extensiva con gran reducción de la superficie dedicada a pastos permanentes y seminaturales (Rounsevell *et al.*, 2006). Las principales causas están relacionadas con distintos factores que afectan a los ganaderos como una excesiva dependencia de las primas, la falta de relevo generacional y el proceso de despoblación de las áreas marginales y concentración en zonas más favorables (Bernués *et al.*, 2011).

Este hecho hace reconsiderar las políticas llevadas a cabo en la actualidad, teniendo en cuenta los beneficios económicos, sociales, culturales y ecológicos que aporta el uso del suelo para el pastoreo extensivo. A nivel mundial soporta tan sólo al 3% de la población pero mantiene al 35% de las ovejas, 23% de las cabras, y 16% de las vacas (Robin *et al.*, 2008). Desde el punto de vista ecológico esta forma de ganadería ofrece grandes beneficios como la contribución al secuestro de carbono, la regulación del ciclo de los nutrientes y balance hídrico, la mejora de la calidad del suelo y estabilidad estructural y sobre todo, tiene un gran valor en el mantenimiento de la biodiversidad (Janzen, 2011).

Los cambios en biodiversidad del pasto tras el abandono de la herbivoría han sido bastante estudiados en pastizales Mediterráneos. Lo mismo se puede decir de los cambios inducidos por la adición de estiércol (Traba *et al.*, 2003). Menos estudios abordan experimentalmente el proceso de establecimiento del matorral tras abandono y cambios en la calidad del pasto en el marco del calentamiento global. Así, teniendo en cuenta las predicciones del cambio climático con modificaciones en la temperatura y en la frecuencia de la precipitación que presumiblemente se intensificarán en un futuro cercano (Anon, 2007), acometimos este estudio con el objetivo de detectar variaciones en la diversidad, en la biomasa y en la colonización del pasto por matorral, debidas a un incremento de temperatura y al cese del aporte de estiércol.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo de campo tuvo lugar en una finca privada: “Dehesa de Gato”, situada en el Parque Natural de Doñana, en el término municipal de Villamanrique de la Condesa, Sevilla (37° 14' 46" N, 6° 37' 7" W, 39 m s.n.m.). El clima es Mediterráneo, con precipitación media anual de 542 mm y temperatura media de 16,8°C. La finca se dedica a la ganadería extensiva, la producción de madera y la conservación de fauna (es zona de reproducción del lince ibérico, *Lynx pardinus*). Presenta zonas adhesionadas de encina - alcornoque (*Quercus ilex* - *Quercus suber*) o pino (*Pinus pinea*) con sotobosque de pastos anuales oligotrofos. También existen pinares de repoblación con abundantes matorrales en el sotobosque: varias especies del género *Cistus* (sobre todo *Cistus salvifolius*), *Rosmarinus officinalis*, *Myrtus communis* y otras. En concreto el estudio se ha realizado en la dehesa de pinos, en la cual se da el pastoreo de vacas (retintas x limousine: 110 hembras adultas) y de cabras (payoya: 300 hembras adultas) en 350 ha aproximadamente.

Diseño experimental

Para aumentar la temperatura ambiente se siguió el método descrito por Kuder-natsch *et al.* (2008). A finales de septiembre de 2009 se instalaron 20 cámaras-invernadero (tratamiento “Inv”) con forma de pirámide cuadrangular (1,20 m x 1,20 m de base y 0,60 m de alto), truncada y abierta por arriba (0,50 m x 0,50 m de apertura) con

paredes de plástico para invernadero, TGK EVA PLUS (UV+IR), de 200 µm y 90% de transmisión de luz global. Fuera de cada cámara se delimitó una parcela adyacente de iguales dimensiones (tratamiento “F”). Todos los pares fueron distribuidos al azar, en un área cerrada de 1 ha. En las mismas parcelas se aplicó un tratamiento adicional de aporte o no de estiércol: 3200 g MS de estiércol vacuno/m² recogido a final del verano en el área de estudio (tratamiento “con”), no aporte de estiércol ni existencia de trazas de heces espontáneamente producidas (tratamiento “sin”). Ambos factores (temperatura ambiente x cantidad de estiércol) se combinaron factorialmente. Tanto en las cámaras-invernadero como fuera se incorporaron data logger (HOBO H8 Pro Series) para registrar la temperatura y la humedad relativa del aire.

La instalación de *Cistus salvifolius* se estudió en de las mismas parcelas anteriores, utilizando subparcelas circulares de 28,5 cm² en las que se añadieron 2,5 g de semillas de la especie (unas 10 000 semillas/m²) recogidas en la explotación. El estudio se inició en octubre de 2009.

Medidas y variables analizadas

A mediados de noviembre se cuantificó la instalación otoñal de plántulas herbáceas (medidas de densidad) en subparcelas de 20 cm x 20 cm. El incipiente desarrollo de las plántulas en este momento, dificultó su discriminación a nivel de especie, haciéndolo a nivel de familia siempre que fue posible. En primavera, a mediados de mayo, se midió la frecuencia específica en líneas de 112 cm de longitud, situadas en el centro de las parcelas, mediante el método de la intercepción puntual. Con los datos de frecuencia se calculó la riqueza de especies (la determinación de las especies se realizó siguiendo a Valdés *et al.*, 1987) y la diversidad (índice de Shannon-Weaver: $H' = -\sum p_i \log_2 p_i$) del pasto. Finalmente, a finales de mayo, se cuantificó la densidad de plántulas de *Cistus salvifolius* en las subparcelas sembradas, se cosechó la biomasa del pasto de toda la parcela, separando por grupos funcionales (Gramíneas, Leguminosas, Otras), y se secó en estufa (80°C) hasta peso constante.

Las variables discretas (densidad de plántulas de pasto y de *Cistus*, y riqueza de especies de pasto) se han analizado mediante el test de Kruskal-Wallis para detectar diferencias entre tratamientos (Invcon, Invsin, Fcon, Fsin) y el test de Duncan, con los datos ordenados por rango, para comparaciones a posteriori. Los datos de biomasa y el índice de diversidad, se han analizado utilizando modelos generales lineales (GLM, SPSS 17.0) previa comprobación de normalidad e igualdad de varianzas. El tratamiento sobre la temperatura ambiente y la cantidad de estiércol aportado, han sido incluidos como efectos fijos en el modelo, incluyéndose también la interacción entre ambos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura media del aire se consiguió aumentar unos 0,8°C en las cámaras-invernadero respecto al exterior y la humedad relativa del aire un 5%. La densidad

inicial de plántulas del pasto en otoño, sólo mostró diferencias significativas entre los tratamientos en el caso de las Geraniáceas (tabla1).

Tabla 1. Densidad media de plántulas herbáceas (individuos/m²) instaladas en otoño y comparación entre tratamientos.

Tratamiento	Gramíneas	Mon (No Gram)	Geraniáceas	Leguminosas	Labiadas	Plantagináceas	Otras Dic
Invcon	10,5	0,8	0a	0	0,4	0,2	1,2
Invsin	5,8	0,2	0a	0,2	0,4	1	4,6
Fcon	11,7	1,6	1b	0,2	1,2	0	2,8
Fsin	7,3	1	1,6b	0,6	1	0	2,2
P	0,202	0,347	0,005	0,492	0,365	0,244	0,443

P: nivel de significación. Letras distintas indican tratamientos homogéneos para $\alpha = 0,05$

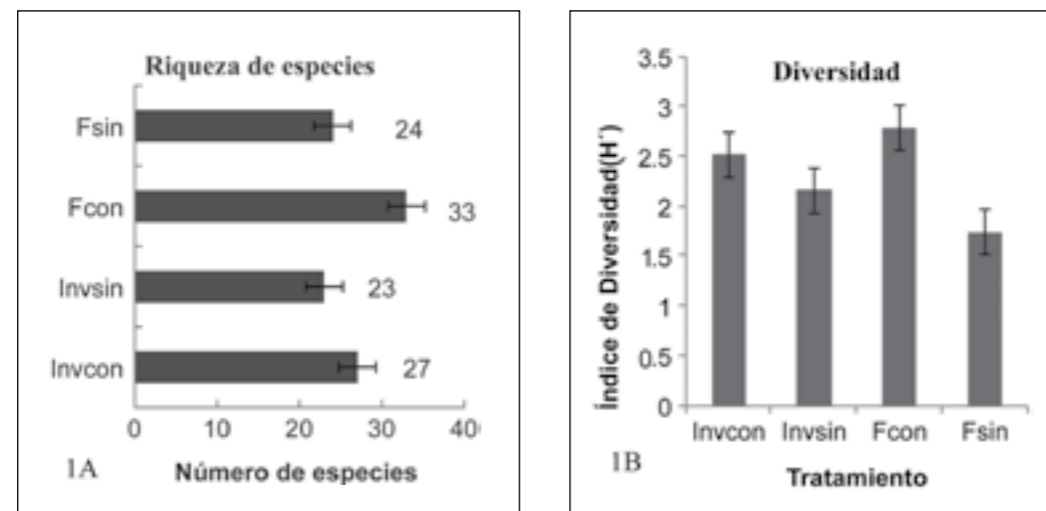


Figura 1. Riqueza de especies y diversidad por tratamiento de las especies de pasto en primavera (valores medios \pm errores estándar).

La riqueza de especies (fig. 1A) no varió significativamente entre tratamientos, aunque los valores más elevados se encontraron en el tratamiento de fuera con estiércol, "Fcon" (33 especies). El índice de diversidad fue más alto en los tratamientos con estiércol ("Invcon" y "Fcon") (fig. 1B). No obstante, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

La biomasa total (fig. 2A) cambió significativamente entre tratamientos ($F=7,53$; $P=0,001$ modelo general) con un notable efecto tanto de la cantidad de estiércol ($F=11,71$; $P=0,002$) como de la temperatura ($F=9,11$; $P=0,006$), pero sin interacción entre ambos factores. Es de destacar que la biomasa total fue casi el doble en el tratamiento "Invcon" que en los restantes. Distintos grupos funcionales de herbáceas (fig. 2B) también se vieron significativamente afectados por los tratamientos ($F=4,72$;

$P=0,01$ y $F=11,02$; $P=0,003$ modelo general para las biomásas de gramíneas y de leguminosas respectivamente). Sin embargo, ambos grupos exhibieron distinta respuesta a cada factor. La biomasa de gramíneas cambió significativamente por la temperatura ($F=11,02$; $P=0,003$), aumentando su valor dentro de las cámaras-invernadero, pero no se vio afectada por la cantidad de estiércol ni fue significativa la interacción entre ambos factores. La biomasa de leguminosas cambió significativamente por el aporte de estiércol ($F=13,45$, $P=0,001$) que produjo un aumento moderado de biomasa, pero no por la temperatura, ni fue significativa la interacción entre factores. En el grupo de "otras" no se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

Los resultados anteriores indican que la falta de aporte de estiércol no solo reduce la biomasa total del pasto, sino que afecta particularmente a la biomasa de leguminosas, lo que sugiere que el abandono del pastoreo tendría repercusiones en el contenido proteico de este recurso para la alimentación del ganado y herbívoros silvestres (Peláez *et al.*, 2011). Además, aumentos potenciales de la temperatura ambiente en ausencia de estiércol ("Invsin") podrían redundar en un aumento de la biomasa de gramíneas sin un aumento proporcional de leguminosas.

Finalmente, la densidad de plántulas de *Cistus salvifolius* se vio significativamente afectada por los tratamientos aplicados ($\chi^2=10,45$; $P=0,015$), siendo el tratamiento "Invsin", con más del doble de plántulas que los demás (fig. 3), el responsable de estas diferencias. Esto podría estar relacionado con la mayor germinación que experimentan habitualmente las cistáceas por aumento de la temperatura (Trabaud y Oustrich, 1989), lo que unido a un moderado desarrollo del pasto al no aportarse estiércol ("Invsin", figura 2A), permitiría un buen establecimiento de estas leñosas. Este efecto no es patente en el tratamiento "Invcon", en que el pasto experimenta un notable crecimiento, sobre todo de gramíneas (fig. 2B), un grupo muy competitivo en general (Grime, 2002), que evitarían por competencia el establecimiento de las plántulas de *Cistus salvifolius*.

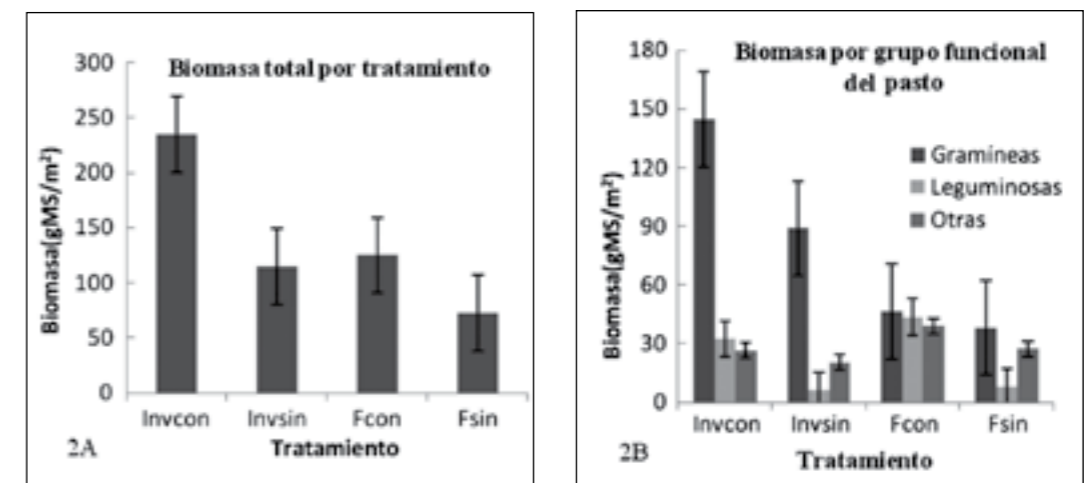


Figura 2. Biomasa total y biomasa por grupo funcional del pasto en cada tratamiento en primavera (valores medios \pm errores estándar)

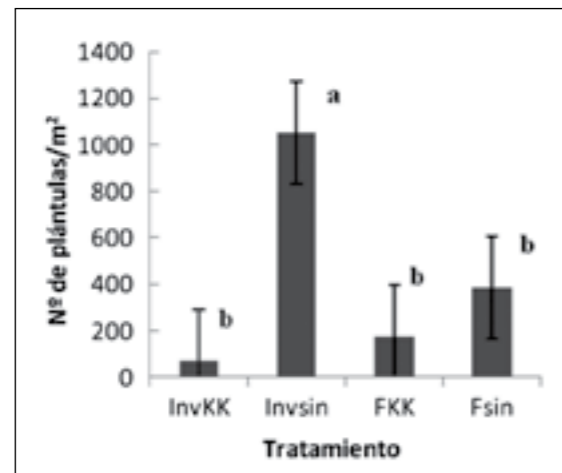


Figura 3. Densidad de plántulas de *Cistus salvifolius* (valores medios \pm errores estándar). Letras idénticas indican tratamientos homogéneos para $\alpha = 0,05$.

CONCLUSIONES

El efecto combinado del aporte de estiércol y subida de la temperatura produjo los mayores efectos en la biomasa total del pasto. La disponibilidad de estiércol afectó preferentemente a la biomasa de leguminosas, y los cambios de temperatura a la biomasa de gramíneas. En condiciones de falta de estiércol y elevada temperatura aumentó notablemente el establecimiento de plántulas de *Cistus*. Se sugiere que la falta de estercolado por abandono del pastoreo podría dar lugar a cambios importantes en las características del pasto para la alimentación de herbívoros, y a tasas más elevadas de establecimiento de algunas especies de matorral como las cistáceas, si ello va unido a un aumento de la temperatura.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por la Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía) (2007/665). Agradecemos la importante colaboración de Ángel Martín y Juan Manuel Mancilla en distintas fases del estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANON (2007). Observed changes in climate and their effects. En: Pachauri R.K. Y Reisinger A. (eds.) *IPCC, climate change 2007: synthesis report, contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, pp. 104-104. Ginebra, Suiza. IPCC.
- BERNUÉS A., RUIZ R., OLAIZOLA A., VILLALBA D. Y CASASÚS I. (2011). Sustainability of pasture-based livestock farming systems in the European Mediterranean context: Synergies and trade-offs. *Livestock Science*, **139** (1), 44-57.

- GRIME J.P. (2002). *Plant strategies, Vegetation processes and Ecosystem properties*. Baffins Lane Chichester, Inglaterra: Wiley.
- JANZEN H.H. (2011). What place for livestock on a re-greening earth? *Animal Feed Science and Technology*, **166-167**(1), 783-796.
- KUDERNATSCH T., FISCHER A., BERNHARDT-RÖMERMANN M. Y ABS C. (2008). Short-term effects of temperature enhancement on growth and reproduction of alpine grassland species. *Basic and Applied Ecology*, **9** (1), 263-274.
- OLEA L., PAREDES J. Y VERDASCO P. (1989). Características productivas de los pastos de la dehesa del SO de la Península Ibérica. En: *Pastos, forrajes y producción animal en condiciones extensivas. II Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes. XXIX Reunión Científica de la SEEP*, pp 141-171. Badajoz, España: Pastos.
- PELÁEZ R., ANDRÉS S., VALDÉS C., GARCÍA R. Y CALLEJA A., 2011. Valor alimenticio de especies productivas en prados de montaña. En: C. LÓPEZ-CARRASCO *et al.* (Eds.) *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*. pp 325-330. Toledo, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- ROBIN S. R., KATHLEEN A.G. Y RUSSELL S. K. (2008). Global significance of extensive grazing lands and pastoral societies: an introduction. En: Galvin K. A. *et al.* (eds.), *Fragmentation in Semi-Arid and Arid Landscapes: Consequences for Human and Natural Systems*, pp. 1-24. Dordrecht, Holanda: Springer.
- ROUNSEVELL M.D.A., REGINSTER I., ARAÚJO M.B., CARTER T.R., DENDONCKER N., EWERT F., HOUSE J.I., KANKAANPÄÄ S., LEEMANS R., METZGER M.J., SCHMIT C., SMITH P. Y TUCK G. (2006). A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agriculture Ecosystems and Environment*, **114**(1), 57-68.
- TRABA J., LEVASSOR C. Y PECO B. (2003) Restoration of Species Richness in Abandoned Mediterranean Grasslands: Seeds in Cattle Dung. *Restoration Ecology* **3**(11), 378-384.
- TRABAUD L. Y OUSTRIC J. (1989). Heat requirements for seed germination of 3 *Cistus* species in the garrigue of southern France. *Flora* **183** (1), 321-325
- VALDÉS C.B., TALAVERA L. S. Y FERNÁNDEZ-GALIANO F. E. (1987). *Flora vascular de Andalucía Occidental*. Barcelona, España: Ketres.