

# **EFFECTO DEL USO DE PRODUCTOS MÉDICO VETERINARIOS DEL GANADO EN LA DIVERSIDAD DE ESCARABEIDOS COPRÓFAGOS DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA: DESDE EL ORGANISMO AL PROCESO ECOLÓGICO**

JOSÉ R. VERDÚ<sup>1</sup>, JORGE M. LOBO<sup>2</sup>, VIEYLE CORTEZ<sup>3</sup>, ANTONIO E. ORTIZ<sup>4</sup>, CATHERINE NUMA<sup>5</sup>,  
FRANCISCO SÁNCHEZ-PIÑERO<sup>6</sup>, BELÉN GALLEGU<sup>7</sup>, ESTELA GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ<sup>8</sup>,  
JUAN E. MARTÍNEZ-PINNA<sup>9</sup>, JEAN-PIERRE LUMARET<sup>10</sup>, MATTIA TONELLI<sup>11</sup>,  
JUAN PABLO GARCÍA-TEBA<sup>12</sup>, IRENE MÉNDEZ-LLEDÓ<sup>13</sup>

## **RESUMEN**

El uso de la ivermectina en el P. N. de Doñana está ampliamente extendido, como se ha podido constatar a través de encuestas a los ganaderos pero también mediante análisis químico de los excrementos provenientes del ganado que habita dentro del parque. Este hecho afecta tanto a la cabaña vacuna como a la equina. El problema principal es que la desparasitación del ganado con ivermectina se realiza de manera preventiva. La administración anticipada de ivermectina es una práctica irresponsable si se consideran las miles de inyecciones que son administradas cada año y la subsecuente contaminación de los excrementos del ganado, que pasan a ser la fuente de alimento de los artrópodos descomponedores que deben facilitar su reciclaje.

---

<sup>1</sup> I. U. I. CIBIO, Universidad de Alicante, Ctra. San Vicente del Raspeig s/n, Alicante E-03690.

<sup>2</sup> Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC, Departamento de Biogeografía y Cambio Global. José Abascal 2, Madrid E-28006.

<sup>3</sup> I. U. I. CIBIO, Universidad de Alicante, Ctra. San Vicente del Raspeig s/n, Alicante E-03690.

<sup>4</sup> Departamento de Química Inorgánica y Química Orgánica. Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas, Jaén E-23071.

<sup>5</sup> IUCN-Centre for Mediterranean Cooperation. Marie Curie 22, Campanillas, Málaga E-29590.

<sup>6</sup> Departamento de Zoología, Universidad de Granada, Granada E-18071.

<sup>7</sup> I. U. I. CIBIO, Universidad de Alicante, Ctra. San Vicente del Raspeig s/n, Alicante E-03690.

<sup>8</sup> Departamento de Enfermería, Universidad de Alicante, Ctra. San Vicente del Raspeig s/n, Alicante E-03690.

<sup>9</sup> Departamento de Fisiología, Genética y Microbiología. Ctra. San Vicente del Raspeig s/n, Universidad de Alicante, Alicante E-03690.

<sup>10</sup> UMR 5175 CEFE, CNRS-Université de Montpellier-Université, Paul-Valéry Montpellier-EPHE, Université Paul-Valéry Laboratoire Zoogéographie, route de Mende, 34199 Montpellier cedex 5, Francia.

<sup>11</sup> I. U. I. CIBIO, Universidad de Alicante, Ctra. San Vicente del Raspeig s/n, Alicante E-03690. Department of Pure and Applied Science (DISPeA; previously DiSTeVA), University of Urbino «Carlo Bo», 61029 Urbino (PU), Italia.

<sup>12</sup> I. U. I. CIBIO, Universidad de Alicante, Ctra. San Vicente del Raspeig s/n, Alicante E-03690.

<sup>13</sup> I. U. I. CIBIO, Universidad de Alicante, Ctra. San Vicente del Raspeig s/n, Alicante E-03690.

Con los estudios realizados se ha podido demostrar que la ivermectina afecta significativamente desde el nivel de organismo (individuo) hasta el nivel de la comunidad, así como al proceso ecológico que desempeña el grupo de insectos estudiado. La ingesta de ivermectina por los escarabeidos afecta seriamente su sistema sensorial y motor, impidiéndoles realizar con efectividad las actividades básicas como el movimiento, la búsqueda de alimento o el encuentro sexual. A nivel de la comunidad, el uso de ivermectina dentro del P. N. de Doñana se ha demostrado que reduce el número de especies, así como la abundancia y biomasa de sus poblaciones, de modo que se disminuye sensiblemente el proceso de la descomposición del excremento y la incorporación de sus nutrientes al suelo.

Los resultados obtenidos en este estudio generan nuevas preguntas, probablemente más inquietantes, si tenemos en cuenta que este efecto negativo ha sido observado en uno de los Parques Nacionales con mayor diversidad de escarabeidos coprófagos de la Península ibérica. Es muy probable que este problema sea más grave y acuciante en algunos otros Parques Nacionales con elevada actividad ganadera, en los que existe una menor riqueza de especies, abundancias y biomasa de escarabeidos.

Partiendo de los resultados del proyecto, consideramos que deberían plantearse una serie de alternativas a la gestión ganadera en el P. N. de Doñana que se sustentarían sobre tres puntos principales: 1) el tipo de compuestos médico-veterinarios utilizados, 2) las fechas de saneamiento animal en las que se realiza la desparasitación con esos compuestos médico-veterinarios, y 3) la promoción de la desparasitación curativa en lugar de la preventiva.

**Palabras clave:** Ivermectina, ganadería ecológica, diversidad funcional, productos médico veterinarios, Parque Nacional de Doñana.

## **EFFECT OF THE MEDICAL USE OF PRODUCTS VETERINARIANS OF THE CATTLE IN DUNG BEETLES (COLEOPTERA, SCARABAEOIDEA) DIVERSITY OF DOÑANA NATIONAL PARK: FROM THE ORGANISM TO THE ECOLOGICAL PROCESS**

### **ABSTRACT**

The use of ivermectin in the National Park of Doñana is widespread, as it has been shown through surveys to farmers but also by chemical analyses of droppings from livestock that lives within the park. This affects both cow cattle and horse populations. The main problem is that anti-parasite processing with ivermectin is done preventively. Early administration of ivermectin is an irresponsible practice considering the thousands of injections administered each year and the subsequent contamination of livestock dung, which become the food source of the decomposer arthropods that must facilitate nutrient recycling.

The studies carried out showed that ivermectin significantly affects from organism level (individual) to the community level as well as the ecological process performed by the studied insect group. The intake of ivermectin by scarab dung beetles seriously affects their sensorial and locomotor systems, preventing them from performing basic biological activities such as movement, foraging, or sexual encounter. At the community level, the use of ivermectin in the Doñana National Park has been shown to decrease the species richness, abundance and biomass of their populations, so that the process of dung decomposition and the incorporation of nutrients to the soil is substantially decreased.

The results obtained in this study generated new questions, probably more disturbing, if we consider that this negative effect has been observed in one of the National Parks with more dung beetle diversity in the Iberian peninsula. It is very probable that this problem is more serious and acute in some other National Parks with high cattle activity, where there is less species richness, abundance and biomass of dung beetles.

Based on the obtained results, we consider a number of alternatives to the management of the cattle in the National Park of Doñana with regard to: 1) the chemical composition of the veterinary medical products that must be used, 2) the dates at which these antiparasitic compounds should be applied, and 3) the promotion of curative practices instead of preventive ones.

**Keywords:** Ivermectin, organic farm, functional diversity, veterinary medical products, National Park of Doñana.

## INTRODUCCIÓN

El declive de las poblaciones animales constituye el primer paso hacia extinción local o regional de las especies. A pesar de las dificultades para detectar estas disminuciones poblacionales, existen evidencias constatando que dichos declives se están produciendo en diversos grupos animales como los anfibios (HOULAHAN *et al.*, 2000) o los insectos polinizadores (GHAZOUL, 2005), probablemente como consecuencia del cambio global relacionado con las actividades humanas. De este modo, estudiar los cambios poblacionales es vital para entender los mecanismos que promueven la extinción y los efectos derivados de los cambios antropogénicos (LUBCHENCO *et al.*, 1991, DAILY & EHRLICH, 1995). El reconocimiento de las amenazas a las poblaciones antes de que ocurra una reducción irreversible, es fundamental para diseñar estrategias efectivas de conservación (HOBBS & MOONEY, 1998, PATTON *et al.*, 1998).

Este fenómeno de reducción poblacional a escala global ha sido reportado también en los insectos descomponedores, concretamente en los coleópteros de la superfamilia Scarabaeoidea (NICHOLS *et al.*, 2009). En Europa, el proceso de reducción poblacional de los Scarabaeoidea coprófagos ha sido señalado desde mediados del siglo XX (JOHNSON, 1962, LECLERC *et al.*, 1980, VÄISÄNEN & RASSI, 1990, BISTRÖM *et al.*, 1991, MIESSEN, 1997). En el caso específico de la región mediterránea, donde se concentra la mayor diversidad de coleópteros coprófagos de Europa, la información sobre el declive de las poblaciones de coleópteros coprófagos es escasa, aunque existen evidencias empíricas bien fundamentadas que constatan que, desde mediados del siglo pasado, se ha producido una disminución significativa en la detectabilidad y el área de distribución de algunas especies (LOBO, 2001, CARPANETO *et al.*, 2007).

Las consecuencias de la reducción en las poblaciones de coleópteros coprófagos, aunque

no frecuentemente estudiadas, pueden ser de gran alcance. La acción de este grupo sobre los excrementos de los grandes herbívoros mejora la fertilidad del suelo, aumenta el área disponible para el pastoreo y evita la proliferación de diversas plagas de dípteros (NICHOLS *et al.*, 2008). Adicionalmente, los coleópteros coprófagos son una fuente importante de alimento para las aves (MCCRACKEN, 1993) y algunos mamíferos medianos como cánidos y mustélidos (PADIAL *et al.*, 2002), por lo que una reducción drástica de las poblaciones podría tener efectos importantes y desconocidos sobre la cadena trófica (MCCRACKEN, 1993). Por todo ello, resulta prioritario estimar cuales pueden ser las implicaciones de una posible reducción en las poblaciones de estas especies, máxime cuando su declive puede estar siendo causado por la incorporación al medio de diversos contaminantes (plaguicidas, herbicidas y productos médico-veterinarios). Muchos factores han sido relacionados con la reducción poblacional de los *Scarabaeoidea* coprófagos sin que haya podido identificarse y cuantificarse su importancia individualmente. Entre los principales factores que podrían explicar la reducción poblacional, están los cambios en el uso del suelo como consecuencia de la urbanización, el abandono de la ganadería tradicional, las plantaciones forestales de especies foráneas y la intensificación agrícola que generan la eliminación del hábitat o cambios en la cobertura vegetal (VERDÚ *et al.*, 2000), la disponibilidad del excremento (ROSLIN & KOIVUNEN, 2001) y su calidad por el uso indiscriminado de compuestos fitosanitarios y antiparasitarios del ganado. La información disponible ha permitido identificar la influencia de algunos de estos factores sobre los patrones de distribución y abundancia de las especies coprófagas, pero no explican la disminución poblacional observada en áreas donde el uso agropecuario del suelo no ha sufrido mayores cambios en los últimos años. Se conoce que la intensificación de las prácticas agropecuarias afecta la riqueza y diversidad de *Scarabaeoidea* coprófagos (HUTTON

& GILLER, 2003) y también que la aplicación de sustancias de uso veterinario, mayoritariamente antiparasitarios del grupo de las lactonas (ivermectina, moxidectina, doramectina, etc. ), influyen negativamente sobre la supervivencia y reproducción de los insectos coprófagos (KRYGER *et al.*, 2005).

En la actualidad, son las lactonas macrocíclicas los fármacos más usados y con mayor índice de comercialización; entre ellas podemos destacar a la ivermectina, la moxidectina, la abamectina y la doramectina (para una revisión véase LUMARET *et al.*, 2012). Todas actúan sobre el sistema nervioso central de los nematodos maduros, inmaduros e hipobióticos del bovino, ácaros e insectos hematófagos, liberando excesivamente el ácido  $\gamma$ -amino-butírico que produce parálisis flácida de su musculatura y finalmente su muerte (BARRAGRY, 1994). El compuesto más utilizado en medicina veterinaria y humana, y también el más estudiado, es la ivermectina. La ivermectina es una avermectina semisintética introducida en medicina veterinaria en 1981; su amplio espectro, potencia sin precedentes, buen margen de seguridad y nuevo mecanismo de acción, la convirtieron rápidamente en el tratamiento de elección en parasitosis por nemátodos y artrópodos en vaca, oveja, cabra, cerdo y caballo (CAMPBELL, 1989). Se ha llegado a detectar en el cuerpo del animal transcurrido un periodo de 28 días tras su administración, en función de la dosis aplicada y la vía de administración. Incluso, cuando es administrada en forma de bolo intestinal, la liberación de ivermectina se produce durante más de 4 meses (ERROUSSI *et al.*, 2001).

Como la mayoría de herbívoros domésticos son tratados actualmente con antihelmínticos (LUMARET & MARTÍNEZ, 2005), urge estimar: a) si las heces de los herbívoros que habitan espacios protegidos muestran niveles de contaminación química significativamente menores, b) si los cambios en los niveles de contaminación de

estos compuestos están relacionados con la diversidad y abundancia de las poblaciones de escarabajos coprófagos, y c) si estos cambios están influyendo sobre los procesos de nitrificación y la calidad de los pastos.

Los parques nacionales juegan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad, ya que mantienen poblaciones viables de las especies, que únicamente están sujetas a los cambios ambientales que puedan alterar de forma natural su abundancia o distribución (ley 4/1989). El papel de las áreas protegidas como refugio para las poblaciones es evidente en el caso de los Scarabaeoidea coprófagos. Más aun, muchas especies consideradas muy raras en estudios faunísticos previos e incluso amenazadas (VERDÚ & GALANTE, 2006), presentan valores poblacionales altos dentro de estos parques (NUMA *et al.*, 2009). Sin embargo, no existe ninguna información sobre las posibles causas de este fenómeno. Estos resultados previos sugieren que la contaminación química y la reducción en la oferta de recursos tróficos para los Scarabaeoidea coprófagos podrían ser los principales factores capaces de explicar el tamaño de las poblaciones y la extinción local de estas especies.

Los objetivos de este estudio fueron: a) realizar un diagnóstico del grado de contaminación química del excremento por antiparasitarios en el Parque Nacional de Doñana; b) evaluar las diferencias en abundancia, biomasa, diversidad y composición de especies de Scarabaeoidea coprófagos en función del uso de antiparasitarios en el ganado; c) Estudiar la influencia del uso de productos médico-veterinarios sobre la tasa de enterramiento, la remoción de excremento y la fertilidad del horizonte superior del suelo; d) evaluar los efectos de la calidad del excremento (en función de la concentración de ivermectina) sobre los niveles de estrés fisiológico y la mortalidad de especies de Scarabaeoidea coprófagos sensibles al manejo ganadero.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Uso, aplicación y antigüedad en el uso de productos médico-veterinarios en el P. N. de Doñana

La recopilación de datos se realizó mediante entrevistas con los veterinarios y los administradores y ganaderos de las fincas de la zona. Se obtuvo información acerca del tipo de producto, las fechas de aplicación, el número de años en los que se han utilizado sustancias, la dosis aplicada y si existe alguna selección de ejemplares para la aplicación (e. g. hembras con crías lactantes, edad de aplicación en los juveniles, etc. ). Estos datos se analizaron para conocer el grado de vulnerabilidad del área protegida e identificar las zonas con mayor grado de amenaza potencial para la biodiversidad.

### Efecto del uso de los productos médico-veterinarios en la diversidad de especies de escarabeidos coprófagos en el P. N. de Doñana

Para la evaluación de la diversidad de Scarabaeoidea coprófagos se seleccionaron tres áreas con distinto uso de productos médico veterinarios, ivermectina (IVM), concretamente: a) Reserva Biológica de Doñana (RBD): libre de IVM; b) Los Sotos: con uso de IVM; y c) Las Marismillas: con uso de IVM. Todas las áreas presentan tanto ganado equino como vacuno. En cada una estas áreas se instalaron 10 trampas de caída (LOBO *et al.*, 1988) cebadas con excremento y activas durante al menos 48 horas a fin de obtener una lista detallada de la fauna de los Scarabaeoidea coprófagos, así como una estima de los patrones de diversidad asociados a los distintos pastizales y un conocimiento de las variaciones de abundancia y distribución de las distintas especies. El análisis de diversidad se realizó previa comprobación de que el muestreo era suficientemente completo (con base en el grado de cobertura,

CHAO & JOST, 2012). Se calculó la diversidad alfa en sus tres componentes  $q$  (0, 1 y 2) con base en los números de Hill.

### **Efecto del uso de los productos médico-veterinarios en el proceso ecológico de degradación del excremento**

Se localizó una localidad en la que el ganado no ha sido tratado con productos antiparasitarios desde al menos 10 años (sitio control: RBD) y otra localidad en donde se realizan de manera anual los saneamientos con productos médico-veterinarios de manera prolongada (sitio «Los Sotos»). En cada localidad se colocaron, unos días después de los saneamientos, 40 recipientes de 40 litros enterrados a ras de suelo, con el suelo relativamente compactado en ellos y rellenos hasta 7 cm del borde. Los recipientes se separaron entre ellos 20 metros para evitar cualquier efecto de interacción. Los tratamientos fueron: a) excremento (1 kg) con ivermectina (se utilizó en este caso por ser el producto médico-veterinario más utilizado) y control; b) tiempo de respuesta: 1) proceso de inmigración ( $t_1 = 6$  horas); 2) proceso de inmigración-permanencia ( $t_2 = 12$  horas); y 3) proceso de permanencia ( $t_3 = 24$  h). Para cada tiempo y tratamiento se realizaron 10 réplicas.

### **Efecto del uso de los productos médico-veterinarios en la fisiología de los escarabeidos coprófagos**

Previamente a la electroantenografía (EAG) se realizó el estudio de la morfología de la antena de la especie seleccionada (*Scarabaeus cicatricosus* (Lucas, 1846) mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para el conocimiento de la localización de los quimiorreceptores. Para realizar los registros de EAG, la antena de los coleópteros se diseccionó con unas microtijer-

ras y posteriormente se montaron entre dos electrodos de metal conectados a un amplificador ( $\times 100$ ) para medir el cambio del potencial eléctrico cuando esta sea estimulada con los compuestos volátiles. Para ello, se utilizaron trimetilamina ( $\text{Me}_3\text{N}$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) como estándares químicos. La estimulación de la antena se llevó a cabo mediante un controlador de estímulos (Syntech). Así, para cada compuesto volátil ( $\text{Me}_3\text{N}$  y  $\text{NH}_3$ ) se analizó la respuesta olfatoria de hembras y machos de la especie seleccionada. Dentro de una pipeta Pasteur se depositó una pieza de papel filtro de  $3 \times 10$  mm (Whatman No. 1), y con una jeringa de cromatografía se colocó una cantidad específica (10-100  $\mu\text{l}$ ) de hexano (compuesto referencia) y de los compuestos seleccionados. En cada caso se dejó evaporar el disolvente durante 10 segundos. Para la estimulación de la antena, una corriente de aire puro humidificado (0.7 l/min) proveniente de una bomba de aire (CS-05 Syntech) fue constantemente dirigida hacia la antena mediante un tubo de vidrio en forma de «L». Las señales generadas ingresaron a través de un amplificador de alta impedancia conectado a una interfase (Interface Data Acquisition Board, IDAC 2, Syntech) que a su vez se encuentra conectada a un ordenador para ser visualizadas y registradas mediante un software (GC-EAD 2010, Syntech). Este método se repitió 10 veces para cada tratamiento (distintas concentraciones de IVM y control).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **El uso, aplicación y tradición en el uso de productos médico-veterinarios en el P. N. de Doñana**

La ganadería en Doñana, al igual que otras actividades humanas en la región, se remonta a tiempos ancestrales. Desde la conformación del área de Doñana como Parque Nacional se ha determinado que ciertos niveles de presencia de

ganado no sólo son soportables sino deseables para garantizar el funcionamiento de los ecosistemas y la conservación de la biodiversidad. En la actualidad, el ganado se encuentra en régimen extensivo predominando vacas y yeguas de vientre que coexisten con pequeños rebaños de ovinos más pastoreados. El número de cabezas de ganado, su distribución y el manejo dentro del parque se encuentran reguladas por el plan rector del uso y gestión.

Más de la mitad de los ganaderos entrevistados (numero de entrevistas = 30) poseen menos de cinco cabezas de equino en el parque y sólo el 17% tienen más de 10 cabezas (Figura 1). Únicamente el 28% de los encuestados manifestó tener ganado vacuno además del equino dentro del parque. Más de la mitad de ellos tenían menos de 5 cabezas de vacuno.

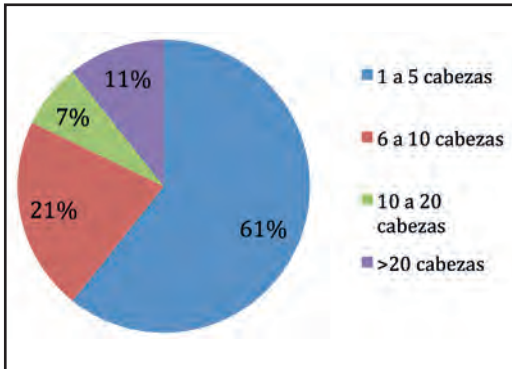


Fig. 1. Número de cabezas de ganado por propietario en el Parque Nacional de Doñana.

El perfil de los ganaderos encuestados muestra que la gran mayoría se dedica a este oficio desde muy jóvenes. Más del 60% tenían más de 20 años dedicados al oficio (Figura 2). La ubicación del ganado, tanto equino como vacuno, de los encuestados dentro del parque se concentra principalmente en los sectores de Hinojos y La Vera (61%), un 17% en El Rincón (La Rocina) y el 21% restante se encuentra repartido en otros sectores como Marismillas, Guadamar, Nuevas,

Palmosa y las playas del Rocío (Figura 3). El esquema de tratamiento de parásitos internos y externos consiste básicamente en, al menos, dos aplicaciones de antiparasitarios por año. Más del 40% aplican estas sustancias durante «la Saca» para el ganado equino y otras aplicaciones en otros momentos del año para el ganado vacuno, al final del verano (55%) y en otoño (Figura 4). La aplicación de antiparasitarios en el ganado recae principalmente en los propietarios (64%); sólo un 7% de los encuestados manifestaron que encargan esta labor a los veterinarios y un 7% de los ganaderos realizan esta actividad en conjunto con los veterinarios (Figura 5).

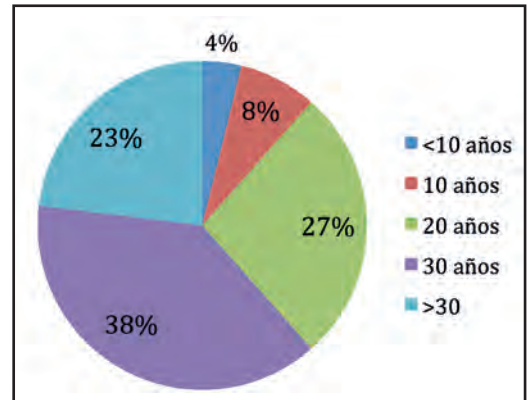


Fig. 2. Experiencia (en años dedicados) de los ganaderos en el Parque Nacional de Doñana.

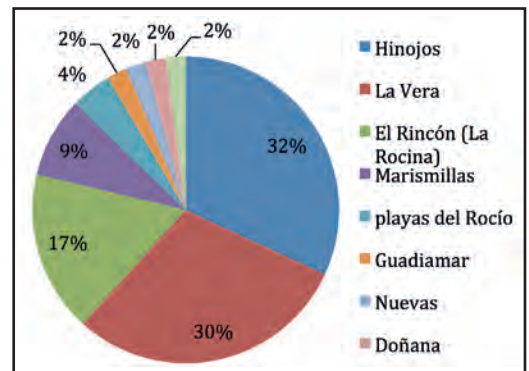


Fig. 3. Ubicación del ganado en los distintos sectores del Parque Nacional Doñana

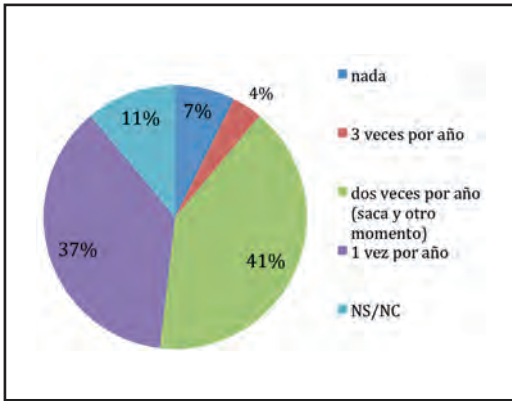


Fig. 4. Número de aplicaciones de productos médico-veterinarios por año en ganado del Parque Nacional Doñana.

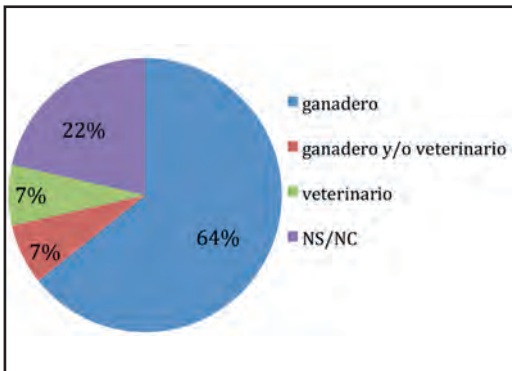


Fig. 5. Personas encargadas de administrar los productos médico-veterinarios en el ganado del Parque Nacional Doñana.

En cuanto al tipo de sustancias aplicadas al ganado del parque, la ivermectina es el medicamento más utilizado para el control de parásitos (82%). Al menos 8 de las marcas comerciales referidas por los encuestados correspondían a ivermectina (72%) o una mezcla de ivermectina y praziquantel (10%). Es importante mencionar que, aunque en un bajo porcentaje y solo en años de alta infestación, algunos propietarios utilizan productos especialmente contaminantes tales como el clorfenvinfos, una sustancia prohibida en los Estados Unidos o sustancias de uso no veterinario tales como lejía, azufre o insecticidas organofosforados de uso agrícola (Dimetotato) (Figura 6). La administración de los antiparasitarios

se hace principalmente por vía oral, especialmente en el caso del ganado equino (62%), aunque un porcentaje importante se administra por vía parenteral, especialmente en el caso del ganado vacuno. Otras sustancias de uso no veterinario como lejía o clorfenvinfos se aplican por aspersión (Figura 7).

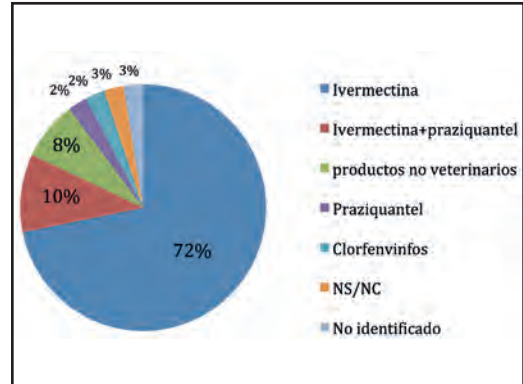


Fig. 6. Productos médico-veterinarios utilizados en el ganado del Parque Nacional Doñana.

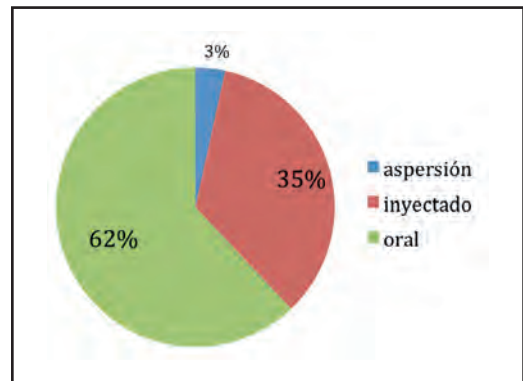
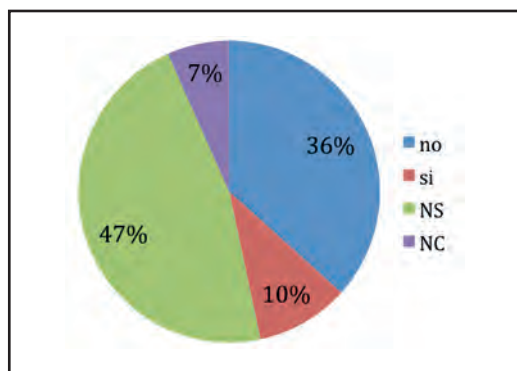


Fig. 7. Modos de administración de los antiparasitarios en el P.N. Doñana.

A la pregunta sobre cual consideran que es el mejor antiparasitario, los encuestados que respondieron a esta pregunta (30%) mencionaron distintas marcas comerciales de ivermectina. Las razones por las cuales consideran mejor estos productos se basan en el precio. Algunos encuestados mencionaron que además de ser muy efectiva para el control de parásitos, la ivermectina está aceptada en el ganado



ecológico. Casi la mitad de los encuestados (47%) ignora que la aplicación de antiparasitarios puede tener efectos sobre el medio ambiente y la biodiversidad. Sólo un 3% de los encuestados cree que la aplicación de estas sustancias puede tener efectos sobre el medio ambiente y un 36% cree que estas sustancias no tienen ningún efecto sobre el medio ambiente (Figura 8).



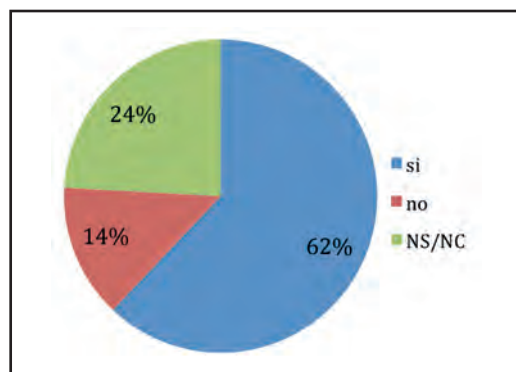
**Fig. 8.** Opinión de los ganaderos sobre si el uso de los antiparasitarios puede tener efecto sobre el medio ambiente y la biodiversidad.

A pesar de ello, el 90% de los encuestados estaría dispuesto a cambiar a un producto menos perjudicial para el medio ambiente. Un porcentaje menor estaría dispuesto a comprarlo incluso si costara un poco más (62%) (Figura 9). Todos coincidieron en que este sobrecosto debería estar subvencionado por la administración del parque.

La aplicación de antiparasitarios en el ganado equino del P. N. Doñana se realiza en la mayor parte de la cabaña de manera preventiva y no curativa. El esquema de aplicación se basa en una única sustancia, ivermectina, complementado en algunos casos con antihelmínticos como el praziquantel. Aunque al parecer pocos ganaderos han probado otras sustancias (e. g. moxidectina), la ivermectina es la preferida por su alta efectividad y su buena relación calidad/precio.

Existe poco o ningún conocimiento dentro del gremio acerca de los efectos potenciales que el uso

indiscriminado de productos médico-veterinarios puede tener sobre el medio ambiente y la biodiversidad. El esquema de tratamiento utilizado actualmente, basado en la aplicación de la misma sustancia todos los años, muestra que probablemente desconocen también los riesgos de generar resistencia (e. g. ALMEIDA *et al.*, 2013). No obstante, los ganaderos parecen dispuestos a cambiar sus prácticas tradicionales siempre y cuando esto no afecte sus costes de mantenimiento. Es necesario mejorar la comunicación con los ganaderos y proporcionar más información a este colectivo para que cuente con mejores conocimientos a la hora de tomar decisiones sobre el modelo de tratamiento para su ganado. El uso de sustancias de uso no veterinario durante los años de alta infestación, requiere más control y seguimiento para evitar posibles efectos negativos sobre el medio ambiente y el bienestar animal.



**Fig. 9.** Intención de los ganaderos encuestados a pagar un producto un poco más costoso pero con menores efectos negativos sobre el medio ambiente y la biodiversidad.

### Efecto del uso de los productos médico-veterinarios en la diversidad de especies de escarabeidos coprófagos en el P. N. de Doñana

Los resultados sobre diversidad taxonómica (riqueza de especies), abundancia y biomasa de escarabeidos coprófagos ponen de manifiesto el efecto negativo de la ivermectina en las tres medidas. Los resultados muestran que en las áreas

con uso de ivermectina la diversidad, medida como número de especies, disminuye significativamente en función del grado de uso de este compuesto químico (Figura 10). Se observaron diferencias significativas en la riqueza de especies entre el área de Las Marismillas y el resto, observándose que en esta área, donde el uso de ivermectina ha sido comprobado a partir del análisis de muestras de excrementos, el número de especies es inferior al resto. En términos de diversidad considerando las especies comunes y las especies dominantes ( $q = 1$  y  $q = 2$ , respectivamente), se observa una disminución de la diversidad en una de las áreas donde el uso de ivermectina ha sido constatado, lo que pone de manifiesto el efecto negativo de este compuesto en la diversidad alfa del P. N. de Doñana. En términos de abundancias, en la figura 11 se puede

observar como el uso prolongado de ivermectina afecta significativamente al tamaño de las poblaciones de escarabeidos coprófagos. Lo más sorprendente de los resultados obtenidos es que, hasta la fecha, lo más frecuentemente observado era que el efecto negativo de la ivermectina producía un descenso significativo en la abundancia y en la biomasa de los escarabeidos coprófagos, siendo menos frecuente el empobrecimiento en términos del número de especies. Este hecho pone de manifiesto que un uso prolongado de compuestos médico-veterinarios como la ivermectina, puede causar una pérdida de diversidad en todos sus componentes y que, al tratarse de pérdida de especies y por tanto de extinciones locales, el proceso ecológico complejo de degradación de los excrementos puede verse comprometido.

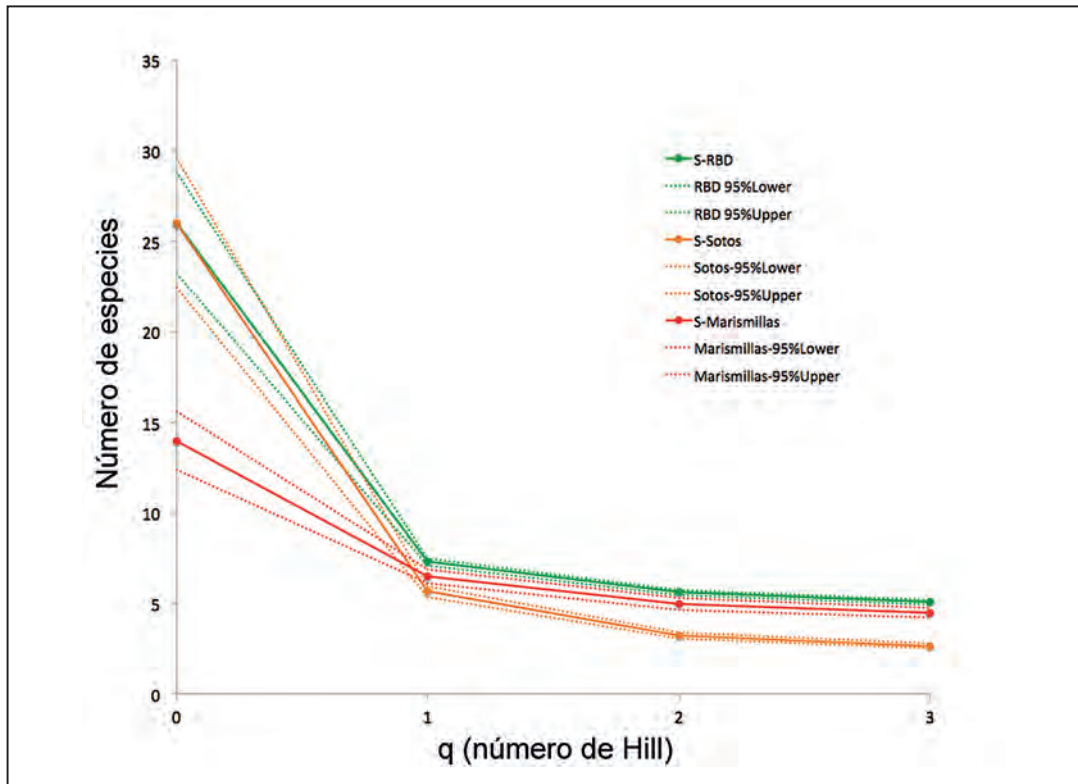
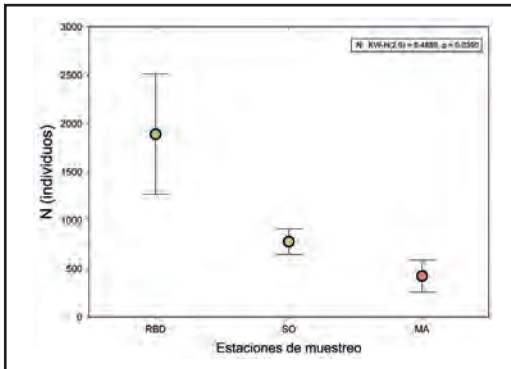


Fig. 10. Diversidad de los escarabeidos coprófagos a distintos niveles de q en tres áreas del P. N. de Doñana con distinto uso de ivermectina (RBD: libre de ivermectina; Los Sotos: uso de ivermectina; Las Marismillas: uso de ivermectina).

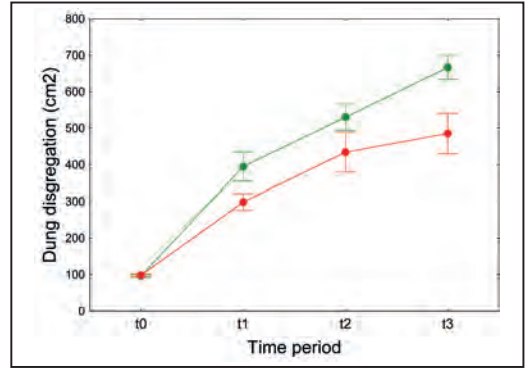


**Fig. 11.** Abundancia de escarabeidos coprófagos ( $\pm$  intervalo de confianza al 95%) en tres áreas del P. N. de Doñana con distinto uso de ivermectina (RBD: libre de ivermectina; Los Sotos (SO): uso de ivermectina; Las Marismillas (MA): uso de ivermectina). Test de Kruskal-Wallis (KW) para estimar las diferencias estadísticamente significativas.

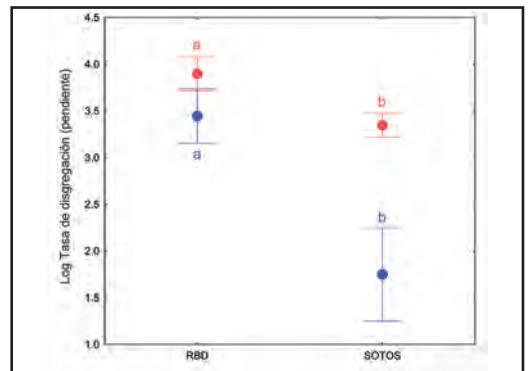
### Efecto del uso de los productos médico-veterinarios en el proceso ecológico de degradación del excremento

Los resultados muestran una significativa diferencia en la eficacia de los escarabeidos a la hora de disgregar y enterrar el excremento entre ambas áreas. En la localidad en la que se utiliza ivermectina, los tiempos de disgregación y enterramiento aumentan notablemente quedando el excremento en muchos casos sin descomponer e incorporarse al suelo. Los resultados ponen de manifiesto que la ivermectina hace disminuir la diversidad funcional de los escarabeidos, tanto para el proceso de remoción del excremento como en su disgregación y enterramiento (Figs. 12 y 13). Estos resultados demuestran que, en áreas donde se suministra ivermectina, el proceso ecológico de descomposición del excremento se ve afectado negativamente.

Estos resultados, junto a los obtenidos anteriormente sobre diversidad alfa, acentúan aun más los efectos negativos del uso de productos médico-veterinarios en un área natural protegida, como es el caso del P. N. de Doñana.



**Fig. 12.** Evolución en la disgregación del excremento por los escarabeidos coprófagos ( $\pm$  intervalo de confianza al 95%) en un sitio con uso de ivermectina (Los Sotos) y un sitio control con ganado ecológico (RBD).



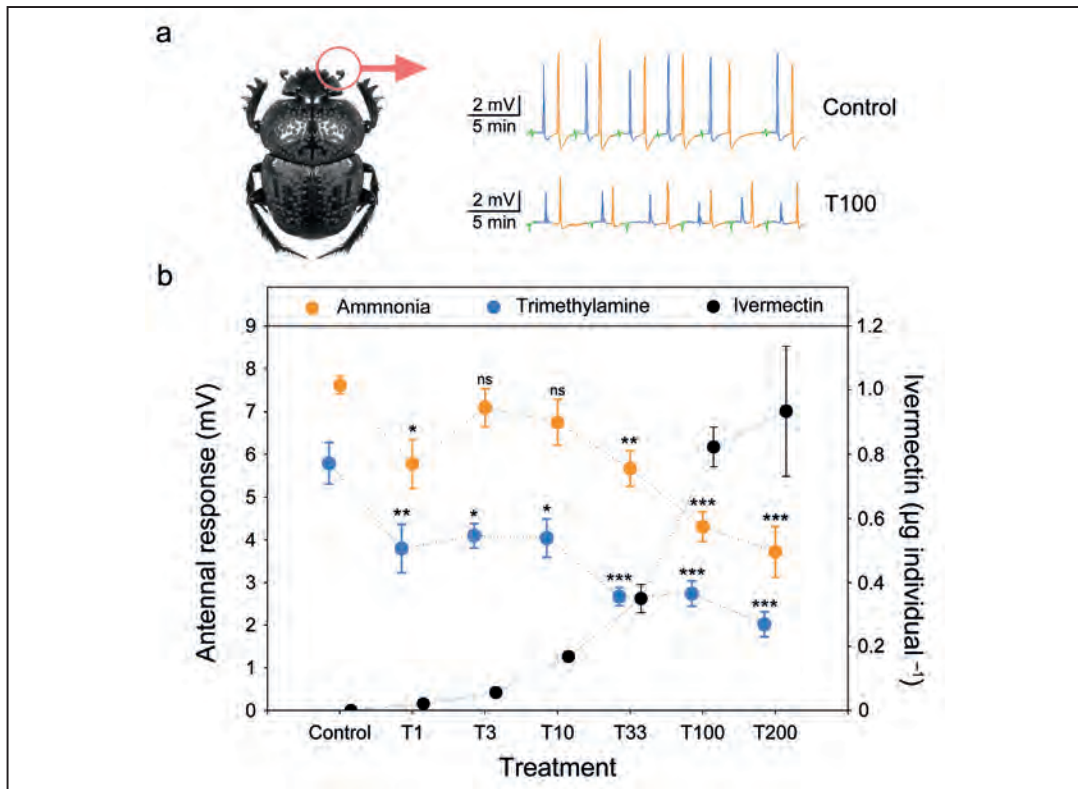
**Fig. 13.** Tasas de disgregación del excremento por los escarabeidos coprófagos ( $\pm$  intervalo de confianza al 95%) en un sitio con uso de ivermectina (Los Sotos) y un sitio control con ganado ecológico (RBD) y en dos épocas del año. Las letras diferentes se corresponden con diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.001$ )

### Efecto del uso de los productos médico-veterinarios en la fisiología de los escarabeidos coprófagos

En la figura 14 podemos observar la respuesta antenal de *S. cicatricosus* ante estímulos olfativos utilizando amoniaco y trimetilamina como compuestos de respuesta. En ambos casos los resultados son muy significativos indicando que los escarabajos que ingieren ivermectina a distintas concen-

traciones (T1-T200) sufren un descenso notable en el potencial de respuesta antenal. Este resultado nos alarma ante la posibilidad de que, aunque concentraciones bajas de ivermectina no causen una muerte a corto plazo en los adultos, éstas les incapaciten para realizar cualquier actividad en la que el estímulo olfativo intervenga. Dado que tanto la alimentación, el encuentro sexual y parte de la orientación dependen de dicho sistema sensorial, parece razonable asumir que cualquier deterioro

de esta capacidad sensorial podrá ocasionar un cambio significativo en el comportamiento de los escarabajos coprófagos que, con el tiempo, producirá un descenso poblacional y, por lo tanto, un perjuicio para el buen funcionamiento del ecosistema. Esta es la primera evidencia científica que muestra que la ivermectina afecta seriamente a la fisiología y comportamiento de este grupo de insectos en sus estadios adultos. Estos resultados tienen serias implicaciones para la ecología funcional del grupo.



**Fig. 14.** La ivermectina disminuye la capacidad olfativa de *Scarabaeus cicatricosus*. a) registros de electroantenografía de un individuo control (sin ingesta de ivermectina) y un individuo tratado con ivermectina (100 µg kg<sup>-1</sup> excremento (peso fresco) después de la exposición a hexano como compuesto estándar (línea verde) y dos compuestos volátiles modelos: amoníaco (línea roja) y trimetilamina (línea azul). b) Los datos de las medias (± s.e.m.) muestran el efecto de diferentes dosis de ivermectina sobre la sensibilidad de la respuesta antenal hacia el amoníaco (puntos rojos) y la trimetilamina (puntos azules). Se utilizaron seis concentraciones: 1.0, 3.3, 10.0, 33.3, 100.0, y 200.0 µg kg<sup>-1</sup> excremento (peso fresco) más un control. Los círculos vacíos se corresponden con la cantidad de ivermectina ingerida por los individuos en cada tratamiento. (\* P < 0.05, \*\* P < 0.01, \*\*\* P < 0.001, post-hoc Dunnet's test) (tomado de Verdú *et al.* 2015).

Los resultados obtenidos indican que las actividades de saneamiento del ganado en el entorno

del Parque Nacional de Doñana deben analizarse con mayor rigor. Existen resultados relevantes

que ponen de manifiesto que los excrementos de algunas zonas del Parque Nacional están contaminados con ivermectina y causan daños fisiológicos notables y la muerte de los escarabeidos coprófagos. A nivel de comunidad, los resultados indican un descenso en la diversidad funcional de escarabeidos coprófagos en áreas de Parque con ganado tratado con ivermectina. Este hecho implica que un deterioro del proceso ecológico de enterramiento y disgregación del excremento de herbívoros por parte de la fauna coprófaga, puede repercutir seriamente en la salud del ecosistema. Asimismo, la existencia de ivermectina en excrementos dentro de la Reserva Biológica de Doñana (un área libre de ivermectina en el ganado) provenientes de caballos que están de paso durante la Romería del Rocío, agudiza seriamente el efecto negativo que tienen estos compuestos médico-veterinarios en la fauna coprófaga, cuyo pico de actividad reproductora coincide con este evento popular para muchas especies. Los resultados finales sugieren una serie de recomendaciones con el propósito de disminuir el efecto de este tipo de compuestos médico-veterinarios en el P. N. de Doñana. Entre estas recomendaciones se sugiere un calendario alternativo de tratamientos y, en medida de lo posible, un protocolo de actuación que además contemple el uso de otros compuestos veterinarios que no tengan tanto impacto negativo en las poblaciones de fauna coprófaga beneficiosa. No obstante, dada la gravedad de los resultados obtenidos, parece mucho más recomendable la prohibición del uso de compuestos médico-veterinarios con toxicidad

demonstrada, como el caso de la ivermectina, de una manera preventiva y generalizada. Tal y como se viene haciendo en la Reserva Biológica de Doñana, lo más apropiado es la desparasitación del ganado únicamente en casos diagnosticados de parasitosis y siempre en ambientes controlados y manteniendo los periodos de cuarentena que aseguren la eliminación de los residuos tóxicos antes de que el ganado salga de los establos.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer el apoyo técnico de C. Fajardo, J. Ordóñez y A. Reig en el laboratorio. Asimismo, agradecemos a los miembros del equipo de la Estación Biológica de Doñana (DBR-ICTS), del Parque Nacional de Doñana y del Entorno de Doñana, especialmente a F. Ibáñez, P. Bayón, M. D. Cobo, F. Quirós, D. Paz, and J. J. Chans por su apoyo logístico en la investigación de campo. El trabajo fue financiado por el proyecto OAPN 762/2012 del Organismo Autónomo de Parques Nacionales-Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Comentario final: está listo para ir a imprenta, si aceptais los comentarios que os incluimos o los rechazais de forma razonada. Creo que falta toda la parte de figuras, tablas y/o fotografías. Por favor ajustaos a las normas editoriales de forma estricta y podremos ser más ágiles en el manejo de los documentos. Finalmente revisad la concordancia y forma editorial de la bibliografía, porque nosotros no la comprobamos. Un saludo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, G. D.; FELIZ, D. C.; HECKLER, R. P.; BORGES, D. G. L.; ONIZUKA, M. K. V.; TAVARES, L. E. R.; PAIVA, F. y BORGES, F. A. (2013): Ivermectin and moxidectin resistance characterization by larval migration inhibition test in field isolates of *Cooperia* spp. in beef cattle, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Veterinary Parasitology* 191: 59-65.
- BISTRÖM, O.; SILFVERBERG, H. y RUTANEN, I. (1991): Abundance and distribution of coprophilus Histerini (Histeridae) and *Onthophagus* and *Aphodius* (Scarabaeidae) in Finland (Coleoptera). *Entomologica Fennica* 2: 53-66.
- CARPANETO, G. M.; MAZZIOTTA, A. y VALERIO, L. (2007): Inferring species decline from collection records: roller dung beetles in Italy (Coleoptera, Scarabaeidae). *Diversity And Distributions* 13: 903-919.

- CHAO, A. y JOST, L. (2012): Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology* 93: 2533-2547.
- DAILY, G. C. y EHRLICH, P. R. (1995): Preservation of biodiversity in small rainforest patches: rapid evaluation using butterfly trapping. *Biodiversity and Conservation* 4, 35-55.
- ERROUSSI, F.; ALVINIEREM, GALTIER, P.; KERBOEUF, D. y LUMARET, J. P. (2001): The negative effects of the residues of ivermectin in cattle dung using a sustained release-bolus on *Aphodius constans* (Duft.) (Coleoptera: Aphodiidae). *Veterinary Research Communications* 32: 421-427.
- GHAZOU, J. (2005): Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in Ecology y Evolution* 20: 367-373.
- HOBBS, R. J. y MOONEY, H. A. (1998): Broadening the extinction debate: population deletions and additions in California and Western Australia. *Conservation Biology* 12: 271-283.
- HOULAHAN, J.; FINDLAY, C.; SCHMIDT, B.; MEYER, A. y KUZMIN, S. (2000): Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature* 404: 752-755.
- HUTTON, S. y GILLER, P. S. (2003): The effects of the intensification of agriculture on northern temperate dung beetle communities. *Journal of Applied Ecology*, 40, 994-1007.
- JOHNSON, C. (1962): The scarabaeoid (Coleoptera) fauna of Lancashire and Cheshire and its apparent changes over the last 100 years. *The Entomologist* 95: 153-165.
- KRYGER, U.; DESCHODT, C. y SCHOLTZ, C. H. (2005): Effects of fluazuron and ivermectin treatment of cattle on the structure of dung beetle communities. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105: 649-656.
- LECLERC, J.; GASPARD, C.; MARCHAL, J. L.; VERSTRAETEN, C. y WONVILLE, C. (1980): Analyse des 1600 premières cartes de l'Atlas provisoire des insectes de Belgique, et première liste rouge d'insectes menacés dans la faune belge. *Notes Fauniques de Gembloux*, 4: 1-104.
- LOBO, J. M. (2001): Decline of roller dung beetle (Scarabaeinae) populations in the Iberian peninsula during the 20th century. *Biological Conservation*, 97: 43-50.
- LOBO, J. M.; MARTÍN-PIERA, F.; y VEIGA, C. (1988): Las trampas pitfall con cebo, sus posibilidades en el estudio de las comunidades coprófagas de Scarabaeoidea (Col.). I. Características determinantes de su capacidad de captura. *Revue d'Ecologie et Biologie du Sol* 25: 77-100.
- LUMARET, J. P. (1986): Toxicité de certains helminthocides vis-à-vis des insectes coprophages et conséquences sur la disparition des excréments de la surface du sol. *Acta Oecologica, Oecologia Applicata* 7: 313-324.
- LUMARET, J. P. y MARTÍNEZ, M. I. (2005): El impacto de productos veterinarios sobre insectos coprófagos: consecuencias sobre la degradación del estiércol en pastizales. *Acta Zoológica Mexicana (n. s.)*, 21: 137-148.
- LUMARET, J. P.; ERROUSSI, F.; FLOATE, K.; RÖMBKE, J. y WARDHAUGH, K. (2012): A Review on the Toxicity and Non-Target Effects of Macrocylic Lactones in Terrestrial and Aquatic Environments. *Current Pharmaceutical Biotechnology* 13: 1004-1060.
- LUBCHENCO, J.; OLSON, A. M.; BRUBAKER, L. B.; CARPENTER, S. R.; HOLLAND, M. M.; HUBELL, S. P.; LEVIN, S. A.; MACMAHON, J. A.; MATSON, P. A.; MELILLO, J. M.; MONEY, H. A.; PETERSON, C. H.; PULLIAM, H. R.; REAL, L. A.; REGAL, P. J. y RISSER, P. G. (1991): The sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda. *Ecology* 72: 371-412.
- MCCRACKEN, D. I. (1993): The potential for avermectins to affect wildlife. *Veterinary Parasitology* 48: 273-280.
- MIESSEN, G. (1997): Contribution à l'étude du genre *Onthophagus* en Belgique (Coleoptera, Scarabaeidae). *Bulletin des Annales de la Société royale belge d'Entomologie* 133: 45-70.
- NICHOLS, E.; GARDNER, T. A.; PERES, C. A. y SPECTOR, S. (2009): Co-declining mammals and dung beetles: an impending ecological cascade. *Oikos* 418: 481-487.
- NICHOLS, E.; SPECTOR, S.; LOUZADA, J.; LARSEN, T.; AMEZQUITA, S. y FAVILA, M. E. (2008): Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation* 141: 1461-1474.
- NUMA, C.; VERDÚ, J. R.; SÁNCHEZ, A. y GALANTE, E. (2009): Effect of landscape structure on the spatial distribution of Mediterranean dung beetle diversity. *Diversity and Distributions* 15: 489-501.
- PADIAL, J. M.; AVILA, E. y SANCHEZ, J. M. (2002): Feeding habits and overlap among red fox (*Vulpes vulpes*) and stone marten (*Martes foina*) in two Mediterranean mountain habitats. *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde* 67: 137-146.

- PATTON, T. M.; RAHEL, F. J. y HUBERT, W. A. (1998): Using historical data to assess changes in Wyoming's fish fauna. *Conservation Biology* 12: 1120-1128.
- ROSLIN, T. y KOIVUNEN, A. (2001): Distribution and abundance of dung beetles in fragmented landscapes. *Oecologia* 127: 69-77.
- VÄISÄNEN, R. y RASSI, P. (1990): Abundance and distribution of *Geotrupes stercorarius* in Finland (Coleoptera, Scarabaeidae). *Entomologica Fennica* 1: 107-111.
- VERDÚ, J. R. y GALANTE, E. (Eds.) (2006): *Libro rojo de los invertebrados de España*, Madrid, Dirección General de Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente.
- VERDÚ, J. R.; CRESPO, M. B. y GALANTE, E. (2000): Conservation strategy of a nature reserve in Mediterranean ecosystems: the effects of protection from grazing on biodiversity. *Biodiversity and Conservation* 9: 1707-1721.
- VERDÚ, J. R.; CORTEZ, V.; ORTIZ, A. J.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, E.; MARTÍNEZ-PINNA, J.; LUMARET, J. P.; LOBO, J. M.; NUMA, C. y SÁNCHEZ-PIÑERO, F. (2015): Low doses of ivermectin cause sensory and locomotor disorders in dung beetles. *Scientific Reports*, 5: 13912; doi: 10.1038/srep13912.