

Ensayo

**EL IMPACTO DE PRODUCTOS VETERINARIOS SOBRE INSECTOS
COPRÓFAGOS: CONSECUENCIAS SOBRE LA DEGRADACIÓN
DEL ESTIÉRCOL EN PASTIZALES**

Jean-Pierre LUMARET* & Imelda MARTÍNEZ M.**

*UMR 5175 CEFE, Laboratorio de Zoogeografía, Universidad Paul Valéry
Route de Mende, 34199 Montpellier cedex 5, FRANCIA

**Instituto de Ecología, A.C. Departamento de Biodiversidad y Ecología Animal
Km 2.5 Antigua Carretera a Coatepec No. 351. Xalapa, 91070 Ver., MÉXICO
jean-pierre.lumaret@univ-montp3.fr imelda@ecologia.edu.mx

RESUMEN

Este artículo es la síntesis de una revisión de la literatura concerniente a los efectos secundarios de los principales medicamentos veterinarios utilizados en el ganado, sobre la fauna no blanco. Se hace hincapié sobre el papel de los organismos del suelo (insectos coleópteros y dípteros, nemátodos del suelo y microorganismos) que degradan y reciclan los excrementos del ganado. Los insectos coprófagos en particular, favorecen indirectamente la actividad de las bacterias que mineralizan esta materia orgánica. Los residuos de ciertos medicamentos que se encuentran en la deyecciones de los animales, pueden ser tóxicos para los insectos coprófagos y perturbar el funcionamiento de los pastizales, en ocasiones con una disminución en la velocidad de desaparición del estiércol de vacas y caballos. Entre las moléculas tóxicas para los insectos se pueden citar el coumafos, la ruelena, el diclorvos, la piperazina, diversos piretroides de síntesis, así como la mayor parte de lactonas macrocíclicas (abamectina, ivermectina, eprinomectina, doramectina) siendo la menos tóxica la moxidectina. Por el contrario, los residuos de otros medicamentos no tienen efectos negativos sobre los insectos coprófagos, en particular aquellos de los grupos del benzimidazol y levamisol/morantel. Hasta muy recientemente este impacto negativo era aceptado por los ganaderos o las firmas farmacéuticas, debido a la importancia económica de la producción comercial para controlar los parásitos del ganado. La importancia de los tratamientos de rutina es discutida, considerando que una erosión silenciosa de la biodiversidad puede tener al final consecuencias sobre el funcionamiento de los pastizales.

Palabras Clave: Antihelmínticos, residuos, toxicidad, insectos coprófagos, control racional de parásitos, biodiversidad.

ABSTRACT

The overall purpose of this paper is to review the major and recent literature relating the secondary effects of the main veterinary products on non-target organisms. The role of soil organisms which degrade dung of animals (dung beetles and flies, earthworms, microorganisms) is underlined. Dung beetles in particular, as they dig small tunnels, inoculate the heart of pats with microorganisms as they carry spores of telluric fungi and microorganisms on their integument and consequently this stimulate the microbial activity. The faecal residues of some compounds cause metabolic disorders and eventually death of invertebrates that ingest or transcuticullally absorb them, with locally a disturbance of the functioning of pastures with alteration in the rate of degradation of dung. Faecal residues or metabolites of drugs belonging to the benzimidazole and levamisole/morantel groups are relatively harmless to dung fauna, on the contrary to other anthelmintics such as coumaphos, dichlorvos, phenothiazine, piperazine, synthetic pyrethoids, and most macrocyclic lactones which have been shown to be highly toxic for dung feeding insects (abamectin, ivermectin, eprinomectin, doramectin), among which moxidectin was the less toxic for dung beetles. To date, the detrimental impact upon non-target organisms has been considered acceptable in eradicating the parasites because of their economic importance to commercial livestock production. Some routine treatments with high effects upon cow pat fauna appear poorly compatible with sustainable pastureland ecology.

Key Words: Anthelmintic, residue, toxicity, dung beetle, Diptera, rational parasite control, biodiversity.

EL FUNCIONAMIENTO NORMAL DE LOS PASTIZALES

En los ecosistemas de pastizal, la producción forrajera depende estrechamente del reciclaje de la materia orgánica producida y de la cantidad de elementos minerales disponibles. Ciertos flujos, como son las restituciones bajo la forma de heces producidas por el ganado, son cuantificables fácilmente. En efecto, las boñigas representan una cantidad considerable de materia, un bovino adulto produce 12 boñigas diarias en promedio, lo que equivale a aproximadamente 4 kg en peso seco (HR 80%) (Waite *et al.* 1951, Petersen *et al.* 1956, Whitehead 1970, Lançon 1978), mientras que un ovino restituye 350 g en peso seco diariamente (HR 70%) (Whitehead 1970, Spedding 1971). El futuro de estos excrementos está ligado a la naturaleza de los organismos recicladores y descomponedores del ecosistema.

El pastizal acelera el proceso de reciclaje porque las boñigas están constituidas en su mayor parte de elementos orgánicos ya transformados. En principio, se liberan más fácil los minerales que los de la paja bruta, porque el estiércol ha sufrido ataques químicos y físicos durante el tránsito intestinal. No obstante, el funcionamiento del ecosistema se mejora por el reciclaje rápido de los excrementos cuando éstos son desmenuzados y enterrados por los insectos coprófagos.

La persistencia de las boñigas sobre el suelo puede tener consecuencias diversas. Principalmente inmovilizan la materia orgánica y una fracción no despreciable de elementos minerales. Pero cuando las boñigas son enterradas bajo una forma fraccionada, contribuyen a modificar la estructura del suelo aumentando la estabilidad y capacidad de retención del agua en beneficio de la vegetación que aprovecha la mineralización rápida de esta materia orgánica (Bornemissza & Williams 1970, Calafiori & Alves 1981, Fincher *et al.* 1981, Wicklow *et al.* 1984, Kabir *et al.* 1985, Rougon 1987, Rougon & Rougon 1981, Rougon *et al.* 1988).

EL PAPEL DE LOS INVERTEBRADOS DEL SUELO

Los excrementos depositados en el suelo ocupan una cierta superficie. Esta puede ser considerable si las boñigas se acumulan, disminuyendo directa o indirectamente la superficie del pastizal (Waterhouse 1974). En este contexto, el papel de los insectos coprófagos (esencialmente coleópteros y dípteros) se presenta como fundamental, en particular cuando existe una masa importante de estiércol depositada por el ganado vacuno. En la región mediterránea, los escarabajos coprófagos participan más activamente en el desmenuzamiento, la fragmentación y el transporte vertical de los excrementos, en la medida en que estos organismos están activos durante una gran parte del año (Lumaret 1978, 1983, 1986, Lumaret & Kirk 1987, 1991). También las lombrices de tierra contribuyen al enterramiento, pero su acción es más determinante en las regiones templadas y frías (Holter 1979). En la montaña, de la primavera al otoño, los insectos son los organismos más importantes,

El enterramiento de las boñigas por los insectos conduce a un enriquecimiento de los horizontes edáficos subyacentes (Brey Meyer 1974, Kalisz & Stone 1984), lo que estimula las poblaciones de microartrópodos del suelo, en particular de colémbolos y ácaros (Bertrand & Lumaret 1984). Este manejo debido al enterramiento en los ecosistemas de pastizal, generalmente, aumenta de una manera significativa la relación bacterias/hifas (Lussenhop *et al.* 1980), favorece el desarrollo de bacterias amoniacales que aceleran el

reciclaje de la materia fecal y de esta forma la circulación del nitrógeno (Brey Meyer *et al.* 1975, Loiseau *et al.* 1984). Los desplazamientos activos de la mesofauna edáfica hacia la fuente de atracción (Bertrand & Lumaret 1984, Lumaret *et al.* 1989) contribuyen a acelerar los procesos de mineralización de los excrementos. En efecto, los microartrópodos aprovechan las galerías abiertas por los insectos coprófagos para colonizar y transformar los excrementos en un anexo epigeo del suelo. Estos insectos transportan pasivamente los conidios adheridos a sus tegumentos (Mac Fadyen 1964) y enriquecen el interior de las boñigas con microorganismos de origen telúrico.

ESTIMACIÓN DEL VALOR ECONÓMICO DE LOS INSECTOS EN EL PROCESO DE RECICLAJE

El conjunto de procesos que impiden la acumulación de boñigas, permite mantener la fertilidad de los pastizales sin la intervención de técnicas imprescindibles y costosas (Bornemissza & Williams 1970, Ricou & Loiseau 1984). Sobre estas bases, el valor económico de los insectos coprófagos es muy alto, sólo para Estados Unidos de América se ha estimado que, en ausencia de estos insectos, se gastarían 2 millones de dólares por año en fertilizantes suplementarios para el sector agrícola, intervenciones técnicas y multiplicación de tratamientos sanitarios para el ganado (Fincher 1981). En Australia, para mitigar el mal funcionamiento de los pastizales, debido a la escasez de escarabajos coprófagos capaces de reciclar las boñigas de bovinos introducidos, el CSIRO (Commonwealth Scientific Industrial and Research Organization) gastó varios millones de dólares australianos entre 1970 y 1985 para introducir cuarenta especies exóticas de escarabajos del estiércol y a la vez, reducir la cantidad de moscas que se desarrollaban en las boñigas y atacaban el ganado, así como para prevenir la acumulación de boñigas que, no enterradas, producían una pérdida anual acumulada de aproximadamente un millón de hectáreas de pastizal (Waterhouse 1974, Bornemissza 1979, Ridsdill-Smith 1979, Doube *et al.* 1991, Kirk & Lumaret 1991). Durante 15 años, cada ganadero australiano debió desembolsar un dólar por año por animal, para financiar este programa de introducción, lo que los sensibilizó de manera muy directa sobre el valor económico de estos insectos.

El excelente ajuste de la entomofauna coprófaga de Europa occidental con la utilización de los excrementos del ganado, muestra el peligro en que se podría incurrir si se les destruyera inconscientemente o sólo si se disminuyera la riqueza y la diversidad de este material biológico, ya que elementos de esta misma fauna son los que han sido introducidos en otros continentes a un costo muy alto. Por ejemplo, una parte de las especies introducidas en Australia eran originarias de Grecia, Francia, España y Marruecos (Fincher 1986, Doube *et al.* 1991, Kirk & Lumaret 1991).

LOS EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE LOS ANTIHELMÍNTICOS LIBERADOS EN LOS PASTIZALES

Ciertas drogas de uso veterinario pueden modificar el funcionamiento normal del ecosistema afectando ciertos eslabones sensibles de la cadena de los animales degradadores. Esto concierne en particular a los coleópteros y los dípteros coprófagos, la mesofauna edáfica y las lombrices. Su eliminación parcial, aunque sea por un lapso de tiempo corto, puede conducir a más que duplicar el tiempo de desaparición de las boñigas de la superficie del suelo (Lumaret 1986). La exclusión total de los insectos durante el primer mes que sigue al depósito de una boñiga alarga considerablemente el tiempo necesario para su desaparición, tiempo que podría llegar a ser de 3 y hasta 4 años en clima mediterráneo (Lumaret & Kadiri 1995).

La mayoría de animales son tratados con helmicidas, inclusive aquellos que se encuentran en numerosos espacios protegidos de Europa donde se permite con frecuencia el pastoreo extensivo para manejar y conservar el medio. La apertura de esos espacios para desbrozar tiene a menudo por efecto un aumento significativo de la biodiversidad, tanto vegetal como animal (Morris 1991, Lecomte & Le Neveu 1993), pero lo que se puede ganar en biodiversidad, puede a veces perderse por la desconsiderada utilización de ciertas drogas.

Sin embargo, no todos los productos veterinarios presentan el mismo riesgo para el ambiente, esto depende de la familia química a la cual pertenecen (Lumaret & Errouissi 2002). En este ensayo, sólo se consideran los productos en los cuales la excreción de la molécula madre y de sus metabolitos se hace por vía fecal.

Los benzimidazoles (tiabendazol, cambendazol, fenbendazol, mebendazol y oxfendazol) que han sido estudiados, así como los imidazotiazoles (levamisol) no tienen efectos nocivos significativos sobre los coleópteros coprófagos (Blume *et al.* 1976, Lumaret 1986), al igual que las salicilanilidas (niclosamida y rafoxamida) (Lumaret 1986).

Por el contrario, los residuos de otros antihelmínticos utilizados desde hace tiempo, como la fénotiazina (compuesto heterocíclico), el coumafos, la ruelena, la piperazina y el diclorvos (fosfato organofosforado), tienen efectos nocivos sobre los insectos coprófagos como los dípteros y los escarabajos (Blume *et al.* 1976, Lumaret 1986). Igualmente sucede con los piretroides de síntesis (Lumaret & Errouissi 2002), como el alfa cipermetrina (Bianchin *et al.* 1992, 1998), la flumetrina (Bianchin *et al.* 1992) y la deltametrina (Wardaugh *et al.* 1998).

El efecto negativo del diclorvos utilizado como antihelmíntico equino ha sido medido en el campo (Lumaret 1986). La mortalidad de los insectos es considerable durante los 10 primeros días que siguen al tratamiento de los animales. El contenido tóxico excretado en una boñiga por un sólo caballo puede potencialmente matar hasta 20,000 escarabajos coprófagos durante ese período, sin contar los otros insectos. A este balance negativo sobre la fauna entomológica se agrega el hecho de que la boñiga que contenga diclorvos se degrada y desaparece mucho más lentamente en comparación con las boñigas de caballos no tratados (remanente sobre el terreno después de 8 meses: 57% en peso seco para caballos tratados, contra la desaparición total para el estiércol de los caballos testigos).

Una nueva categoría, la de las endectocidas que comprende las avermectinas y más recientemente las milbemicinas, ha revolucionado el control antiparasitario durante esta última década. Se trata de lactonas macrocíclicas producidas por fermentación de un actinomiceto del género *Streptomyces* (Burg *et al.* 1979, Egerton *et al.* 1979, Miller *et al.* 1979, Takiguchi *et al.* 1980). Las endectocidas son productos semisintéticos que presentan similitudes de estructura, aunque sus efectos secundarios son diferentes sobre la fauna de invertebrados que no es el blanco a tratar de controlar. Las avermectinas y las milbemicinas son hoy los antiparasitarios más utilizados, con una cifra del orden de mil millones de dólares americanos en 1993. Así, desde 1981, la ivermectina ha sido comercializada en más de 60 países y es utilizada para tratar tanto el ganado bovino como a los borregos, cabras, caballos, cerdos, perros, camellos, venados y hasta el hombre (Shoop *et al.* 1995).

Estas moléculas han tenido un éxito considerable, en la medida que actúan sobre un muy largo espectro de especies endoparásitas y ectoparásitas del ganado que se han hecho resistentes a otras moléculas más clásicas. Su acción es sistémica actuando a una débil concentración y su persistencia en el organismo permite la protección del animal durante varias semanas. Y es ahí donde reside el mayor problema para la fauna no blanco de los pastizales. Una parte muy importante del producto es eliminado progresivamente en las heces de los animales tratados. La ivermectina conserva toda su eficiencia insecticida durante un largo periodo. Así, Wardhaugh y Rodríguez-Menéndez (1988) han demostrado en el laboratorio que los insectos coprófagos podrían intoxicarse todavía si consumen boñigas de animales tratados 40 días antes.

Además, las boñigas de los animales tratados con ivermectina pueden ser más atractivas que aquellas de los animales no tratados, lo que aumenta los factores de riesgo para los insectos coprófagos (Lumaret *et al.* 1993). En efecto, el olor de las boñigas de animales tratados es más intenso, sin duda debido al hecho de que después del tratamiento hay una liberación de una cantidad importante de aminoácidos en los excrementos. Los análisis muestran que en las boñigas de los animales tratados la concentración de ácido glutámico y de ácido aspártico aumenta hasta el 4° día después del tratamiento, después la concentración disminuye brutalmente. Las concentraciones en histidina y metionina aumentan regularmente durante 7 días. La alanina, la valina y la leucina presentan sus más altas concentraciones entre los 4 y 7 días, mientras que la prolina presenta un pico muy importante durante todo el periodo de atracción de los insectos (Bernal *et al.* 1994).

La ivermectina se emplea bajo diversas fórmulas y dosis, así como en diferentes modos de administración. En inyección subcutánea y formulación no acuosa, a la dosis de 0.2 mg/kg, la persistencia de la ivermectina en el plasma del animal tratado es relativamente corta, con una vida media de 3 días. La concentración encontrada en esas boñigas es de 3.9 ppm. La dosis es mayor en la formulación "pour-on" no acuosa (0.5 mg/kg), lo que aumenta el efecto ecotóxico potencial de esta formulación (9.0 ppm encontrado en las boñigas) (Sommer & Steffanssen 1993). Por último, la administración de la ivermectina en formulación acuosa bajo la forma de un bolo intestinal (sustained-release bolus) que libera durante más de 4 meses la ivermectina a razón de aproximadamente 12.7 mg/jdía, es el modo de administración más peligroso para la fauna de invertebrados coprófilos, tanto por la duración de acción del tratamiento como por la concentración del producto en las boñigas (Herd *et al.* 1993).

Diferentes estudios muestran que los dípteros, en especial los Ciclorrafos, son particularmente afectados. El desarrollo larval de *Musca domestica* (mosca casera) (Madsen *et al.* 1990) y el de *Musca vetustissima* (mosca australiana de los arbustos) (Ridsdill-Smith 1988, Wardaugh *et al.* 1993) es significativamente afectado hasta después de un mes de que se ha tratado al ganado con la inyección subcutánea de ivermectina a una dosis de 0.2 mg/kg. Lo mismo sucede en otros dípteros como *Neomyia cornicina* (Wardhaugh & Rodríguez-Menéndez 1988, Gover & Strong 1995), *Scatophaga stercoraria* (Strong & James 1993) o *Lucilia cuprina* (Cook 1993) en los que la mortalidad larval es total o muy alta durante el primer mes después del tratamiento del ganado con la ivermectina. La utilización de la eprinomectina (otra avermectina) en formulación "pour-on" está asociada a una fuerte mortalidad larval de *Neomyia cornicina*, especie en la que no se presenta ninguna

emergencia de adultos hasta el séptimo día después del tratamiento (Lumaret et al. 2005).

Sin embargo, no todos los insectos son afectados tan fuertemente por las ivermectinas, los coleópteros coprófagos adultos parecen ser bastante resistentes. Por el contrario, su fecundidad y la tasa de emergencia de los adultos pueden disminuir, aunque la mortalidad de los imagos recién emergidos así como de las larvas puede ser bastante elevada. Esto se ha demostrado en especies de los géneros *Onthophagus*, *Euoniticellus*, *Copris*, *Onitis* y *Aphodius* (Doherty et al. 1994, Fincher & Wang 1992, Ridsdill-Smith 1993, Roncalli 1989, Sommer et al. 1993, Wardaugh et al. 1993). Las ovejas tratadas con un bolo de ivermectina arrojan durante varios días estiércol tóxico para los coleópteros coprófagos (Wardaugh et al. 2001). El desarrollo larvario de *Euoniticellus fulvus* y de *Onthophagus taurus* es detenido, mientras que a dosis más débiles, los adultos que emergen tienen una tasa de mortalidad significativa, los que sobreviven presentan un retardo en la madurez sexual con una reducción en la fecundidad. Un estudio muy reciente apoyado por el Ministerio del Ambiente de Francia (programa PNETOX) ha demostrado que 143 días después del tratamiento con bolo de ivermectina, el ganado arrojaba boñigas que todavía tenían un efecto tóxico significativo sobre los insectos, con una mortalidad total de larvas de *Aphodius constans* (coleóptero coprófago) durante los 128 días que siguen a la administración de bolos a los animales (Errouissi et al. 2001). Los resultados sobre los estudios efectuados en lombrices son menos contrastantes y hasta contradictorios. Para ciertos autores (Halley et al. 1989), los efectos de la ivermectina sobre *Eisenia foetida* son nulos a una concentración 12 ppm en el suelo, mientras que trabajos más recientes (Gunn & Sadd 1994) tienden a mostrar que el crecimiento de esta especie disminuye, producen menos cocones y la mortalidad aumenta cuando las concentraciones de ivermectina en el suelo es similar a la encontrada en las boñigas. Por el contrario, en Australia Svensen y Baker (2002) han demostrado que después del tratamiento de ovejas y bovinos con la moxidectina (molécula de la familia de las milbemicinas), los residuos de la molécula no tenían efecto sobre la sobrevivencia de *Aporrectodea longa* (Lumbricidae), ni sobre la actividad de esta especie. En cuanto a los organismos acuáticos de agua dulce, como el crustáceo *Daphnia magna* y el pez *Salmo gairdneri*, su sensibilidad a la ivermectina es muy elevada (Halley et al. 1989). La fauna marina (en particular los crustáceos) es igualmente alterada por los residuos de ivermectina utilizada en las granjas de salmones (BurrIDGE & Haya 1993, BurrIDGE et al. 2000, Davies et al. 1997).

Los efectos ecotóxicos de la ivermectina sobre la fauna de invertebrados no blanco tienen repercusiones sobre la ecología de los pastizales. En invierno, en el campo, la ivermectina que se encuentra en los excrementos del ganado y en el suelo se degrada muy lentamente, con una duración de vida media de la molécula que varía entre 90 y 240 días (Halley et al. 1989). Por el contrario la ivermectina es degradada rápidamente en verano, con una duración de vida media que varía entre 7 y 14 días (Lumaret et al. 1993).

Wall y Strong (1987) han demostrado que las boñigas de bovinos que absorbieron por vía oral la ivermectina contenida en bolo liberando 40 µg/kg/día quedaban sin degradar 100 días después de su depósito en el campo, mientras que las boñigas testigo habían desaparecido durante el mismo lapso de tiempo. Las boñigas de los animales tratados contenían pocos coleópteros o dípteros, o ninguno. Los experimentos realizados en Canadá por Floate (1998), donde la ivermectina se agregó directamente a la boñiga en

concentraciones comparables a aquellas que se encuentran normalmente en las deyecciones de los animales tratados, muestran que las boñigas son muy poco degradadas después de 340 días de exposición en el campo. A la inversa, las boñigas testigo depositadas simultáneamente en el mismo sitio son degradadas casi totalmente después de 80 días de exposición. Los trabajos de Suarez *et al.* (2003) en Argentina van en el mismo sentido, con una disminución en la colonización de las boñigas de los animales tratados con la ivermectina o la doramectin, en correlación con las fuertes concentraciones residuales reencontradas en las boñigas hasta 189 días después de su exposición sobre el terreno.

Estos resultados son comparables a los obtenidos con el diclorvos, que es un poderoso insecticida, pero contrariamente al diclorvos que es totalmente eliminado por el animal en unos días, los sistémicos son excretados durante un lapso de tiempo mucho más largo, sobre todo si se utilizan los bolos intestinales que pueden liberar la molécula activa durante aproximadamente 4 meses.

Si se comparan los efectos de la ivermectina con los de la moxidectina (otra endectocida), sobre los nemátodos y sobre la fauna no blanco, se constata también que existe una gran eficiencia de la moxidectina sobre numerosos nemátodos, incluso sobre los parásitos que se hicieron resistentes a la ivermectina (Pankavich *et al.* 1992, Watson *et al.* 1992). Por el contrario, todos los trabajos efectuados en Australia, Inglaterra, Estados Unidos y Francia, muestran que la moxidectina es mucho menos tóxica que la ivermectina para los invertebrados no blanco. Fincher y Wang (1993) han demostrado en Estados Unidos que el estiércol de animales tratados con la inyección de moxidectina a la dosis de 0.2 mg/kg no afectaría ni la fecundidad ni la tasa de emergencia de los escarabajos coprófagos *Onthophagus gazella* y *Euoniticellus intermedius*, mientras que los residuos de ivermectina tuvieron efectos adversos.

Así como los dípteros son normalmente muy afectados por la ivermectina, lo son menos por la moxidectina. Doharty *et al.* (1994) han demostrado, además, que la moxidectina era 64 veces menos tóxica que la ivermectina, tanto en *Onthophagus gazella* como en el díptero *Haematobia irritans exigua*. Nuestros propios resultados, sobre el díptero *Neomyia cornicina* como el escarabajo coprófago *Aphodius constans*, van en el mismo sentido, es menos tóxica la moxidectina que la ivermectina (Lumaret & Kadiri 1998).

CONCLUSIÓN

El uso de ciertos productos veterinarios sobre los insectos coprófagos puede conducir a modificaciones en el equilibrio de los sistemas de pastizales, con la disminución de ciertos procesos biológicos y ciertamente con la pérdida o disminución de componentes del ecosistema tales como los dípteros y los coleópteros, así como quizá los anélidos. La toma de conciencia de este problema involucra y sensibiliza, tanto a la parte de los gestores de los espacios protegidos como a la de las firmas que ponen al día y comercializan estos productos. Por otra parte una Directiva europea ordena actualmente las autorizaciones para situar en el mercado (AMM) los productos veterinarios con un estudio previo sobre su impacto sobre la fauna de insectos no blanco del ecosistema (Directiva 93/40/CEE del Consejo del 14 de junio de 1993 modificando las directivas 81/851/CEE y 81/852/CEE relativas a las legislaciones de los estados miembros sobre los medicamentos veterinarios). Pero a pesar del hecho de que numerosos trabajos demuestran los efectos secundarios de

los medicamentos veterinarios, las firmas farmacéuticas no disponen aún de pruebas estandarizadas que permitan a las autoridades administrativas de regulación, establecer una reglamentación precisa definiendo las concentraciones aceptables de estos desechos tóxicos en el ambiente (De Knecht & Montforts 2001). Es por eso que el grupo de trabajo DOTTS (Dung Organism Toxicity Test Standardization), que reagrupa representantes de la industria farmacéutica, agentes gubernamentales e investigadores, ha integrado recientemente la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry). DOTTS desarrolla actualmente los protocolos de pruebas que al final son destinados a ser homologados por los países de la OECDE (Organisation for Economic Co-operation and Development) para definir las normas de desechos autorizados (Long 2002). No habrá que ser irreales y procribir todo tratamiento a los animales, aunque estos pastoreen en espacios protegidos. Por el contrario habría que tratar de escoger cuidadosamente las moléculas que tengan el menor impacto sobre el ambiente, y definir los periodos de tratamiento que sean compatibles tanto con la fenología de los invertebrados que se quiera proteger como con el ciclo del parásito de los que conviene reducir sus poblaciones con el fin de conservar un buen estado sanitario de los rebaños. Quizás se podría considerar concentrar los animales a tratar en un espacio restringido durante un lapso de tiempo a definir para cada molécula utilizada, de tal manera que permita eliminar más fácilmente sus excrementos tóxicos. Sin embargo, aún así no se podrá hacer de una manera realista más que con las moléculas con tiempo de eliminación corto.

Los efectos tóxicos o no tóxicos, sobre la fauna no blanco, de ciertas moléculas actualmente comercializadas son conocidos, pero para otras moléculas los datos son fragmentarios o inexistentes. La investigación en esta área está abierta pero deberá ser sostenida, para que mañana nuestros pastizales no lleguen a ser comparables a los que se veían en Australia antes de importar, a costos muy altos, los insectos coprófagos que hacían falta naturalmente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a dos árbitros anónimos sus comentarios y sugerencias. Este trabajo se hizo con el apoyo del Laboratorio de Zoogeografía de la Universidad Paul Valéry, Montpellier, Francia y del Departamento de Biodiversidad y Ecología Animal del Instituto de Ecología, A.C., Xalapa Ver., México.

LITERATURA CITADA

- Bernal, J.L., Ma J. del Nozal, M. Salas, E. Galante & J.P. Lumaret.** 1994. HPLC determination of residual ivermectin in cattle dung following subcutaneous injection. *J. Liq. Chromat.* 17(11): 2429-2444.
- Bertrand, M. & J.P. Lumaret.** 1984. Réactions des populations de microarthropodes à l'enfouissement des fèces de mouton par les insectes Scarabaeidae en milieux à fortes contraintes. *Pedobiologia* 27: 51-66.
- Bianchin, I., M.R. Honer, A. Gomes & W.W. Koller.** 1992. Efeito de alguns arrapaticidas/ insecticidas sobre *Onthophagus gazella*. *EMBRAPA Comunicado Técnico* 45: 1-7.
- Bianchin, I., R.G.O. Alves & W.W. Koller.** 1998. Effect of pour-on tickicides/insecticides on adults of the African dung beetle *Onthophagus gazella* Fabr. (Coleoptera: Scarabaeidae). *An. Soc. Entomol. Bras.* 27: 275-279.

- Blume, R.R., R.L. Younger, A. Aga & C.J. Myers.** 1976. Effects of residues of certain anthelmintics in bovine manure on *Onthophagus gazella*, a non-target organism. *Southwest. Entomol.* 1(2): 100-103.
- Bornemissza, G.F.** 1979. The Australian Dung beetle Research Unit in Pretoria. *South African J. Sci.* 75: 257-260.
- Bornemissza, G. F. & C.H. Williams.** 1970. An effect of dung activity on yield. *Pedobiologia* 10: 1-7.
- Breymeyer, A.,** 1974. Analysis of a sheep pasture ecosystem in the pieniny mountains (the Carpathians). XI. The role of coprophagous beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) in the utilization of sheep dung. *Ekol. pol.* 22(3-4): 617-634.
- Breymeyer, A., H. Jakubczyk & E. Olechowicz.** 1975. Influence of coprophagous arthropods on microorganisms in sheep faeces. - Laboratory investigation. *Bull. Acad. pol. Sci. CL.II, Sér. Sci. biol.* 23: 257-262.
- Burg, R.W., B. M. Miller, E.E. Baker, J. Birnbaum, S.A. Currie, R. Hartman, Y.L. Kong, R.L. Monaghan, G. Olson, I. Putter, J.B. Tunac, H. Wallick, E.O. Stapley, R. Oiwat & S. Omura.** 1979. Avermectins, new family of potent anthelmintic agents: producing organism and fermentation. *Antimicrob. Agents Chemother.* 15: 361-367.
- Burridge, L.E. & K. Haya.** 1993. The lethality of ivermectin, a potential agent for treatment of Salmonids against sea lice, to the shrimp *Crangon septemspinosa*. *Aquaculture* 117: 9-14.
- Burridge, L.E., K. Haya, S.L., Waddy & J. Wade.** 2000. The lethality of anti-sea lice formulations Salmosan® (Azamethiphos) and Excis® (Cypermethrin) to stage IV and adult lobsters (*Homarus americanus*) during repeated short-term exposures. *Aquaculture* 182: 27-35.
- Calafiori, M.H. & S.B. Alves.** 1981. Influência de fêmeas do *Dichotomius anaglypticus* (Mannerheim, 1829) na fertilização do solo e no desenvolvimento do milho (*Zea mays* L.). *Ecosistema* 6: 32-40.
- Campbell, W.C. (Edit.).** 1989. *Ivermectin and Abamectin*, Springer-Verlag, New York, USA, 363 p.
- Cook, D.F.** 1993. Effect of avermectin residues in sheep dung on mating of the Australian sheep blowfly *Lucilia cuprina*. *Vet. Parasitol.*, 48: 205-214.
- Davies, I.M., J.G. McHenry & G.H. Rae.** 1993. Environmental risk from dissolved ivermectin to marine organisms. *Aquaculture* 158: 263-275.
- De Knecht, J.A. & M.H.M.M. Montforts.** 2001. Environmental Risk Assessment of Veterinary Medicine Products: An Evaluation of the Registration Procedure. *SETAC Globe* 2: 29-30.
- Doube, B.M.** 1986. Biological control of the buffalo fly in Australia : the potential of the southern African dung fauna. *Misc. Publ. Entomol. Soc. Amer.* 61: 16-34.
- Doube, B. M., A. Macqueen, T.J. Ridsdill-Smith & T.A. Weir.** 1991. Native and introduced Dung Beetles in Australia, pp. 255-278. In: Hanski I. and Y. Cambefort (edits.), *Dung Beetle Ecology*, Princeton Univ. Press, Princeton, N.J., USA.
- Egerton, J.R., D.A. Ostlind, L.S. Blair, C.H. Eary, D. Suhayda, S. Cifelli, R.F. Riek & W.C. Campbell.** 1979. Avermectins, new family of potent anthelmintic agents: efficacy of the B_{1a} component. *Antimicrob. Agents Chemoter.* 15: 372-378.
- Errouissi, F., M. Alvinerie, P. Galtier, D. Kerboeuf & J.P. Lumaret.** 2001. The negative effects of the residues of ivermectin in cattle dung using a sustained-release bolus on *Aphodius constans* (Duft.) (Coleoptera: Aphodiidae). *Vet. Res.* 32: 421-427.
- Fincher, G.T.** 1981. The potential value of dung beetles in pasture ecosystems. *J. Georgia Entomol. Soc.* 16: 316-333.
- _____. 1986. Importation, colonization, and release of dung-burying scarabs. *Misc. Publ. Entomol. Soc. Amer.* 62: 69-76.
- Fincher, G. T., W.G. Monson & G.W. Burton.** 1981. Effects of cattle feces rapidly buried by dung beetles on yield and quality of Coastal bermudgrass. *Agron. J.* 73: 775-779.
- Fincher, G. T. & G.T. Wang.** 1993. Injectable moxidectin for cattle: effects on two species of dung-burying beetles. *Southwest. Entomol.*, 17: 303-306.

- Floate, K.D.** 1998. Off-target effects of ivermectin on insects and on dung degradation in Southern Alberta, Canada. *Bull. Entomol. Res.* 88: 25-35.
- Gover, J. & L. Strong.** 1995. Effects of ingested ivermectin on body mass and excretion in the dung fly, *Neomyia cornicina*. *Physiol. Entomol.* 20: 93-99.
- Gunn, A. & J.W. Sadd.** 1994. The effect of ivermectin on the survival behaviour and cocoon production of the earthworm *Eisenia fetida*. *Pedobiologia.* 38: 327-333.
- Halley, B.A., R.J. Nessel & A.H.Y. Lu.** 1989. Environmental aspects of Ivermectin usage in livestock: general considerations, pp. 162-172. *In: Campbell W.C. (edit.), Ivermectin and Abamectin*, Springer-Verlag, New York, USA.
- Herd, R.P., B.R. Stinner & F.F. Purrington.** 1993. Dung dispersal and grazing area following treatment of horses with a single dose of ivermectin. *Vet. Parasit.* 48: 229-240.
- Holter, P.** 1979. Effect of dung-beetles (*Aphodius* spp.) and earthworms on the disappearance of cattle dung. *Oikos* 32: 393-402.
- Kabir, S.M.H., A.J. Howlader & J. Begum.** 1985. Effect of dung beetle activities on the growth and yield of wheat plants. *Bangladesh J. Agric.* 10(1): 49-55.
- Kalisz, P.J. & E.L. Stone.** 1984. Soil mixing by Scarab Beetles and Pocket Gophers in North-Central Florida. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48(1): 169-172.
- Kirk, A. & J.P. Lumaret.** 1991. The importation of Mediterranean adapted dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) from the northern hemisphere to the other parts of the World, Chap. 29, pp. 409-420. *In: Groves, R.H. & F. Di Castri (edits): Biogeography of Mediterranean invasions*, Cambridge Univ. Press, U.K.
- Lançon, J.** 1978. Les restitutions du bétail au pâturage et leurs effets. *Fourrages* 75: 55-88 et 76: 91-122.
- Lecomte, T. & C. Le Neveu.** 1993. Insectes floricoles et déprise agricole: application à la gestion des réserves naturelles du Marais Vernier (Eure, France). pp. 118-123. *In: Lhonoré, J., H. Maurin, R. Guilbot & P. Keith (edit). Inventaire et cartographie des invertébrés comme contribution à la gestion des milieux naturels français; actes du séminaire tenu au Mans les 6-7 Novembre 1992.* Collection Patrimoines Naturels, Vol. 13. Paris, Secrétariat Faune-Flore/MNHN, 214 pp.
- Loiseau, P., A. Jauneau, G. Ricou.** 1984. Etudes sur le recyclage dans l'écosystème prairial. I. Influence de la conduite du pâturage sur l'activité biologique des pelouses montagnardes. *Acta Oecologica, Oecol. Applic.*, 5(1): 23-41.
- Long, C.** 2002. Minutes of the inaugural meeting to discuss development of dung beetle and dung fly laboratory methodologies for veterinary medicinal products. *Huntingdon Life Sciences*, Huntingdon, U.K., 37 p.
- Lumaret, J.P.** 1978. *Biogéographie et écologie des Scarabéides du Sud de la France*. Thèse d'Etat, Univ. Sci. Techniques Languedoc, Montpellier. 254 p.
- _____. 1983. Structure des peuplements de coprophages Scarabaeidae en région méditerranéenne française: relations entre les conditions écologiques et quelques paramètres biologiques des espèces. *Bull. Soc. ent. Fr.* 88(7-8): 481-495.
- _____. 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, Oecol. Applic.* 7(4): 313-324.
- Lumaret, J.P. & F. Errouissi.** 2002. Use of anthelmintics in herbivores and evaluation of risks for the non target fauna of pastures. *Vet. Res.* 33: 547-562.
- Lumaret, J.P., F. Errouissi, P. Galtier & M. Alvinerie.** 2005. Pour-on formulation of eprinomectin for cattle: fecal elimination profile and effects on the development of the dung-inhabiting diptera *Neomyia cornicina* (L.) (Muscidae). *Envir. Tox. Chem.* 24(4): 797-801.
- Lumaret, J.P., E. Galante, C. Lumbreras, C. Mena, M. Bertrand, J.L. Bernal, J.F. Cooper, N. Kadiri & D. Crowe.** 1993. Field effects of antiparasitic drug ivermectin residues on dung beetles (Insecta, Coleoptera). *J. Appl. Ecol.*, 30: 428-436.

- Lumaret, J.P. & N. Kadiri.** 1995. The influence of the first wave of colonizing insects on cattle dung dispersal. *Pedobiologia* 39: 506-517.
- _____. 1998. Effets des endectocides sur la faune entomologique du pâturage. *Bulletin des G.T.V.* 3-D-018: 55-62.
- Lumaret, J.P. & A. Kirk.** 1987. Ecology of dung beetles in the french mediterranean region (Coleoptera: Scarabaeinae). *Acta Zool. Mex. (n. s.)* 24: 1-55.
- _____. 1991. South temperate dung beetles, pp. 97-115. *In: Hanski I. & Y. Cambefort (eds.). Dung Beetle Ecology*, Princeton Univ. Press, Princeton, N.J., USA.
- Lussenhop, J., R. Kumar, D.T. Wicklow & J.E. Elloyd.** 1980. Insects effects on bacteria and fungi in cattle dung. *Oikos* 34: 54-58.
- MacFadyen, A.** 1964. Relations between mites and microorganisms and their significance in soil biology. 1st International congress of Acarology Proceedings, *Acarologia* VI: 147-149.
- Madsen, M., B. Overgaard Nielsen, P. Holter, O.C. Pedersen, J. Brochner Jespersen, K.M. Vagn Jensen, P. Nansen & J. Gronvold.** 1990. Treating cattle with ivermectin: effects on the fauna and decomposition of dung pats. *J. Appl. Ecol.* 27: 1-15.
- Miller, T.W., L. Chalet, D.J. Cole, J.E. Flor, R.T. Goegelman, V.P. GULLO, H. Joshua, A.J. Kempf, W.R. Krellwitz, R.L. Monaghan, R.E. Ormond, K.E. Wilson, G. Albers-Schönberg & I. Putter.** 1979. Avermectins, new family of potent antihelminthic agents: isolation and chromatographic properties. *Antimicrob. Agents Chemother.* 15: 368-371.
- Morris, M.G.** 1991. The management of reserves and protected areas. pp. 323-347. *In: Spellerberg, I.F., F.B. Goldsmith & M.G. Morris. (eds.). The scientific management of temperate communities for conservation.* Blackwell Sci. Publ., Oxford.
- Pankavich, J.A., H. Berger & K.L. Simkins.** 1992. Efficacy of moxidectin, nemadectin and ivermectin against an ivermectin-resistant strain of *Haemonchus contortus* in sheep. *Vet. Rec.* 130: 241-243.
- Petersen, R.G., H.L. Lucas & W.W. Woodhouse Jr.** 1956. The distribution of excreta by freely grazing cattle and its effect on pasture fertility. I. Excretal distribution. *Agron. J.* 48: 440-449.
- Ricou, G. & P. Loiseau.** 1984. Etudes sur le recyclage dans l'écosystème prairial. II.- Coprophages et recyclage dans les pelouses montagnardes. *Acta Oecologia, Oecol. Applic.*, 5(4): 319-334.
- Ridsdill-Smith, T.J.** 1979. New dung beetles at work in Western Australia. *J. Agric. Western Aust.* 20(2): 34-47.
- _____. 1988. Survival and reproduction of *Musca vetustissima* Walker (Diptera: Muscidae) and a Scarabaeine dung beetle in dung of cattle treated with avermectin B1. *J. Aust. Entomol. Soc.* 27: 175-178.
- _____. 1993. Effects of avermectin residues in cattle dung on dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) reproduction and survival. *Vet. Parasitol.* 48: 127-137.
- Roncalli, R.A.** 1989. Environmental aspects of use of ivermectin and abamectin in livestock: effects on cattle dung fauna, pp. 173-181. *In: Campbell, W.C. (ed.). Ivermectin and Abamectin*, Springer-Verlag, New York, USA.
- Rougon, D.** 1987. Coléoptères coprophiles en zone sahélienne: étude biocénétique, comportement nidificateur, intervention dans le recyclage de la matière organique du sol. Thèse d'Etat, Univ. d'Orléans, 324 p.
- Rougon, D. & C. Rougon.** 1981. Insectes et fertilisation des sols. *Agecop liaison* 59: 36-39.
- Rougon, D., C. Rougon, J. Trichet & J. Levieux.** 1988. Enrichissement en matière organique d'un sol sahélien au Niger par les Insectes coprophages (Coleoptera, Scarabaeidae). Implications agronomiques. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 25(4): 413-434.
- Shoop, W.L., H. Mrozik & M.H. Fisher.** 1995. Structure and activity of avermectins and milbemycins in animal health. *Vet. Parasit.* 59: 139-156.
- Sommer, C. & B. Steffansen.** 1993. Changes with time after treatment in the concentrations of ivermectin in fresh cow dung and in cow pats aged in the field. *Vet. Parasit.* 48: 67-73.

- Sommer, C., J. Gronvold, P. Holter & P. Nansen.** 1993. Effects of ivermectin on two afro tropical dung beetles, *Onthophagus gazella* and *Diastellopalpus quinquegens* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Vet. Parasit.* 48: 171-180.
- Spedding, G.R.W.** 1971. *Grassland ecology*. Grazing, Oxford 1-101.
- Strong, L. & S. James.** 1993. Some effects of ivermectin on the yellow dung fly, *Scatophaga stercoraria*. *Vet. Parasit.* 48: 181-191.
- Suarez V.H., A.L. Lifschitz, J.M. Sallovitz & C.E. Lanusse.** 2003. Effects of ivermectin and doramectin faecal residues on the invertebrate colonization of cattle dung. *J. Appl. Ent.* 127: 481-488
- Takiguchi, Y., H. Mishima, H., M. Okuda & M. Terao.** 1980. Milbemycins, a new family of macrolide antibiotics: fermentation, isolation and physico-chemical properties. *J. Antibiot.* 33: 1120-1127.
- Waite, R., W.B. MacDonald & W. Holmes.** 1951. Studies in grazing management. III. The behaviour of dairy cows grazed under the close folding and rotational systems of management. *J. Agric. Sci.* 41: 163-173.
- Wall, R. & L. Strong.** 1987. Environmental consequences of treating cattle with the anti-parasitic dung ivermectin. *Nature*, London. 327: 418-421.
- Wardhaugh, K.G. & H. Rodríguez-Menendez.** 1988. The effects of the antiparasitic drug, Ivermectin, on the development and survival of a dung breeding fly, *Orthelia cornicina* (Fabr.) and the scarabaeine dung beetle, *Copris hispanus* L., *Bubas bubalus* (Olivier) and *Onitis belial* F. *J. Appl. Ent.* 106: 381-389.
- Wardhaugh, K.G. & R.J. Mahon.** 1991. Avermectin residues in sheep and cattle dung and their effects on dung-beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) colonization and dung burial. *Bull. Ent. Res.*, 81: 333-339.
- Wardhaugh, K.G., P. Holter & B. Longstaff.** 2001. The development and survival of three species of coprophagous insects after feeding on the faeces of sheep treated with controlled-release formulations of ivermectin or albendazole. *Aust. Vet. J.* 79: 125-132.
- Wardhaugh, K.G., B. Longstaff & M.J. Lacey.** 1998. Effects of residues of deltamethrin in cattle faeces on the development and survival of three species of dung-breeding insects. *Aust. Vet. J.* 76: 273-280.
- Wardhaugh, K.G., R.J. Mahon, A. Axelsen, M.W. Rowland & W. Wanjura.** 1993. Effects of ivermectin residues in sheep dung on the development and survival of the bushfly, *Musca vetustissima* Walker and a Scarabaeine dung beetle, *Euoniticellus fulvus* Goeze. *Vet. Parasit.* 48: 139-157.
- Waterhouse, D.F.** 1974. The biological control of dung. *Scient. Am.* 230(4): 101-109.
- Watson, T.G., B.C. Hosking & P.F. McKee.** 1992. Long term stability of ivermectin resistance following initial diagnosis. *Proceedings Joint Conference of the Australian Society for Parasitology and New Zealand Society for Parasitology*, New Zealand, Abstract 124.
- Whitehead.** 1970. The role of nitrogen in grassland productivity. *Bull. 48 Commonwealth Bureau of Pastures and field Crops*, Berkshire, England.
- Wicklowsky, D.T., R. Kumar & J.E. Lloyd.** 1984. Germination of Blue Grama seeds buried by dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae). *Environ. Ent.* 13(3): 879-881.

Recibido: 10 de junio 2005
Aceptado: 23 de septiembre 2005