

Diego José García Corredor\*  
Martín Orlando Pulido Medellín\*\*  
Adriana María Díaz Anaya\*\*\*

# Uso de hongos nematófagos en el control biológico de nematodos gastrointestinales en ovinos

Use of nematophagous fungi in biological control of gastrointestinal nematodes in sheep

Uso de fungos nematófagos no controle biológico os nematódeos gastrintestinais nas ovelhas

## Resumen

El control de nematodos gastrointestinales en ovinos es realizado casi exclusivamente con productos de origen químico que, por lo general, ofrecen buenos resultados. Sin embargo, su inadecuado uso ha generado la presencia de resistencia en algunos grupos parasitarios. Consecuente con esto, y teniendo en cuenta que cada vez es mayor la preocupación encaminada hacia el consumo de alimentos inocuos que favorezcan la salud humana, se ha buscado desarrollar nuevos métodos de control de origen

biológico que permitan manejar y controlar la presencia de parásitos gastrointestinales al interior de las explotaciones pecuarias mediante la utilización de enemigos naturales contra estos agentes patógenos en el medio ambiente. Dentro de los métodos biológicos más utilizados para el control de nematodos gastrointestinales en ovinos se encuentran los hongos nematófagos, los cuales tienen propiedades como la reducción del número de larvas de nematodos en materia fecal y la facilidad de atravesar el tracto gastrointestinal preservando su capacidad germinativa, lo que facilita la posibilidad de desarrollar variadas formas de administración. En la presente revisión se tratarán las especies de hongos nematófagos más utilizadas, así como las distintas formas de administración ensayadas en la actualidad.

**Palabras clave:** Control biológico, hongos nematófagos, nematodos, ovinos.

Fecha de recepción del artículo: 12 de noviembre de 2015  
Fecha de aceptación del artículo: 27 de mayo de 2016  
DOI: <http://dx.doi.org/10.22335/rict.v7i2.236>

\* Médico Veterinario Zootecnista, UPTC. Magister en Ciencias Biológicas, UPTC. Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores "Virginia Gutiérrez de Pineda, COLCIENCIAS. Correo electrónico: pibegarcia@yahoo.es <http://orcid.org/0000-0001-5122-5435>

\*\* Médico Veterinario, UDCA. Magister en Ciencias Biológicas, UPTC. Docente programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UPTC Correo electrónico: mopm1@hotmail.com <http://orcid.org/0000-0003-4989-1476>

\*\*\* Médico Veterinario Zootecnista, UPTC. Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores "Virginia Gutiérrez de Pineda, COLCIENCIAS. Correo electrónico: adriana43@gmail.com <http://orcid.org/0000-0002-8192-6379>

## Abstract

The control of gastrointestinal nematodes in sheep is almost exclusively done with chemical products that generally offer good results, however inappropriate use has generated the presence of resistance in some parasitic groups. Consistent with this, and taking into account that there is a growing concern directed towards the consumption of safe food that favour human health, has sought develop new methods of biological control that manage and control the presence of gastrointestinal parasites inside of livestock farms through the use of natural enemies against these pathogens in the environment. The nematophagous fungi, which have properties such as the reduction of the number of larvae of nematodes in fecal matter and ease of passing through the gastrointestinal tract while preserving its germinative capacity, which facilitates the possibility of developing various forms of administration are among the more biological methods for the control of gastrointestinal nematodes in sheep. In the present review were the species of fungi nematophagous most commonly used, as well as the different forms of administration tested today.

**Keywords:** controle biológico, fungos nematófagos, nematódeos, ovelhas..

### Resumo

Controle de helmintos gastrintestinais em ovelhas é feito quase exclusivamente com produtos químicos que geralmente oferecem bons resultados, uso desapropriado gerou a presença de resistência em alguns grupos de parasitas. Consistente com este e tendo em conta que é uma preocupação crescente, orientada para o consumo de alimentos seguros que favorecem a saúde humana, tem procurado desenvolvem novos métodos de controle biológico que gerenciar e controlam a presença de parasitas gastrintestinais dentro de fazendas de gado através do uso de inimigos naturais contra esses patógenos no ambiente. Os fungos nematófagos, que têm propriedades tais como a redução do número de larvas de nematóides em matéria fecal e facilitar a passagem através do trato gastrointestinal, preservando sua capacidade germinativo, que

facilita a possibilidade de desenvolver várias formas de administração estão entre os métodos mais biológicos para o controle de helmintos gastrintestinais em ovelhas. Na presente revisão foram as espécies de fungos nematófagos mais comumente usados, bem como as diferentes formas de administração testaram hoje.

**Palavras chaves:** nematódeos, fungos nematófagos, controle biológico, ovelhas.

### Introducción

La gran demanda de productos como carne y lana derivados de especies animales menores como los ovinos ha desencadenado un incremento vertiginoso de la ovino cultura durante los últimos años en Colombia (Orozco *et al.*, 2009). La elevada pérdida económica por parasitismo gastrointestinal en las explotaciones ovinas se ha contrarrestado con la implementación de programas sanitarios tradicionales que se basan en el uso de productos químicos (Saumell *et al.*, 2009); sin embargo, el uso inadecuado de estos productos ha generado problemas de resistencia por parte de las especies parasitarias, convirtiéndose en un inconveniente para el productor, ya que la ganancia de peso de los animales no es la adecuada ni la esperada en términos de rentabilidad, además de generar una dependencia total de un solo método de control parasitario que termina siendo poco sustentable y utilizable a largo plazo (Kemper *et al.*, 2009), sin dejar atrás la posibilidad de crear desequilibrios ecológicos y ocasionar la presencia de residuos de medicamentos en subproductos como carne y lana.

Esta situación conlleva a la necesidad de explorar y evaluar estrategias de control no químicas como el manejo de la resistencia genética de los animales, resistencia inmunológica, administración de vegetales antihelmínticos, nutracéuticos y el control biológico, los cuales complementan los programas tradicionales permitiendo una disminución gradual de infección con una menor dependencia de productos químicos (Casillas-Aguilar *et al.*, 2008).

El control biológico se constituye en una de las estrategias más prometedoras para un control sustentable de los nematodos gastrointestinales por lo que la búsqueda de formulaciones que vehiculen su uso como método de control es motivo de investigación. La principal ventaja de esta estrategia biológica es la eficacia sin resistencia de los parásitos de ovinos de sistemas tradicionales, un método ecológico diseñado por el hombre para disminuir las poblaciones parasitarias a un nivel subclínico aceptable, conservando estas poblaciones en un nivel no perjudicial gracias a antagonistas vivos naturales (Sagüés *et al.*, 2011). Sumado a esto como método de control biológico permite que los productos adquieran un valor agregado, ya que es conocida la preocupación de la tendencia en el mercado de consumir productos orgánicos que no pongan en riesgo la salud humana con residuos de agentes químicos (Torres-Acosta *et al.*, 2012).

### Control biológico

Teixeira *et al.* (2013) definen el control biológico como una estrategia ecológica cuyo objetivo es disminuir las poblaciones parasitarias a un nivel aceptable, buscando mantener las poblaciones parasitarias en un nivel no perjudicial basado en el comportamiento y acción de antagonistas naturales. Es importante entender el control biológico, como una medida de regulación cuyo objetivo no es acabar con el organismo diana, sino controlar su población reduciendo así sus efectos nocivos. Este mecanismo de acción es lo que permite diferenciar a este mecanismo de los antihelmínticos, cuyo propósito es eliminar la totalidad de los parásitos que se encuentran en el animal (Manueli *et al.*, 1999; Mederos *et al.*, 2012).

Entre las distintas alternativas estudiadas como posibles agentes de control biológico se encuentran artrópodos coprófagos, bacterias y hongos (Ribeiro Braga *et al.*, 2010). Dentro de los últimos se encuentran los hifomicetos (hongos nematófagos) que son capaces de atrapar y digerir las formas libres de los nematodos que se encuentran en el suelo sin ser patógenos para los organismos que no son su blanco; sumado a los anteriores, gran cantidad de estos hongos tienen la capacidad de producir esporas de resistencia o

presentar fases saprofiticas en ausencia de sus hospedadores (Hongyan *et al.*, 2007).

En la actualidad existen más de 200 especies de hongos nematófagos descritas; la mayoría pertenecientes a los denominados hongos imperfectos o deuteromycetes (Kelly *et al.*, 2008; Maciel *et al.*, 2009). Dichos hongos constituyen un grupo heterogéneo de gran propagación, viviendo normalmente en forma saprofitica y ocupando preferiblemente el suelo, donde pueden alimentarse de gran número de nematodos de vida libre, ya sea como recurso principal o secundario (Soto-Barrientos *et al.*, 2011).

De acuerdo con el modo en que utilizan a los nematodos como recurso nutritivo, los hongos nematófagos se dividen en depredadores, endoparásitos y ovicidas.

### Depredadores

Son hongos saprófitos capaces de formar un sistema miceliar extensivo en el medio empleando como recurso nutritivo las fases de vida libre de los nematodos. Algunos de los géneros más importantes dentro de este grupo son *Arthrobotrys*, *Dactylaria*, *Dactylella* y *Monacrosporium* (Chandrawathani *et al.*, 1999; Ribeiro Vilela *et al.*, 2012). A través de mecanismos como la producción de un material adhesivo sobre las hifas y la formación de complejos anillos constrictores, los hongos depredadores son capaces de atrapar y consumir los estadios larvarios de los nematodos presentes en las heces y en el suelo (Arias *et al.*, 2013). Existe un grupo abundante de hongos depredadores que utilizan como estrategia de captura la formación de redes tridimensionales adhesivas cubiertas por una capa mucilaginosa a la que quedan adheridos los nematodos. La producción de esta red parece estar estimulada por el forcejeo de los nematodos atrapados (Cruz *et al.*, 2009).

El mecanismo de acción de los hongos nematófagos es una combinación de la liberación de enzimas hidrolíticas extracelulares como proteasas séricas, quitinasas y colagenasas que digieren la cutícula del nematodo y fuerza mecánica (órganos de captura) (Paz-Silva *et al.*, 2011). Una hora después de la penetración, el

hongo forma un bulbo infectivo en el interior del nematodo y en pocas horas ocupa completamente el cuerpo de este (Assis *et al.*, 2013). El proceso de digestión puede llegar a durar hasta una semana, tras lo cual la hifa trófica se lisa y el hongo se desarrolla de nuevo saprofiticamente, hasta que la presencia de nematodos en el medio estimula nuevamente su actividad predatora (Burke *et al.*, 2005).

Los géneros de nematodos parásitos de los ovinos, cuyas larvas son más móviles (*Cooperia*, *Ostertagia* y *Haemonchus*), estimulan una mayor producción de redes tridimensionales que aquellas larvas de movimientos más lentos, como *Oesophagostomum* (Assis *et al.*, 2012). Las L1 y las L2 son más lentas en sus movimientos, pero más susceptibles de morir rápidamente que las L3, las que al mantener la vaina de la L2 obtienen más protección, y son más resistentes a la mortalidad (Paz-Silva *et al.*, 2011).

En la investigación de hongos nematófagos para el control de los nematodos gastrointestinales, la mayoría de los trabajos se han centrado en las especies depredadoras, debido a que su carácter saprofito permite el aislamiento y mantenimiento en cultivos puros, facilitando así su producción *in vitro* (Arias *et al.*, 2013). Estos hongos han sido aislados en gran variedad de hábitats, especialmente, en medios ricos en materia orgánica como pastos, estiércol o abono (Jackson y Miller, 2006). Entre las especies conocidas de hongos nematófagos, los *Duddingtonia flagrans* cumplen con todas las características antes descritas y además tienen la capacidad de atravesar el tracto gastrointestinal de los ovinos y otras especies domésticas como equinos, cerdos y bovinos, pudiendo germinar y luego reducir el número de larvas infectantes en materia fecal; la supervivencia en el tracto gastrointestinal se debe a que sus clamidosporas presentan una pared gruesa que les permite tolerar condiciones extremas (Ribeiro Braga *et al.*, 2014). La temperatura óptima para el crecimiento y función predatora del hongo se sitúa entre 10 y 30 °C, alcanzando su máxima actividad para la formación de redes entre 25 y 28 °C; factores como luz, humedad, pH y la presencia de oxígeno, pueden también influir en la formación de elementos de captura (Paraud *et al.*, 2005).

Es indispensable comprender que cualquier agente de control biológico debe resultar inocuo para el medio ambiente, por este motivo debe valorarse si la presencia masiva de clamidosporas, en las heces, puede alterar el equilibrio natural del ecosistema. Maciel *et al.* (2010) observaron que la presencia de *D. flagrans* no provocó cambios en la fauna de nematodos del suelo, y concluyeron que el uso del hongo no tiene efectos ambientales adversos.

Así, también Eysker *et al.* (2006), Ribeiro *et al.* (2009) y Teixeira *et al.* (2013) demostraron, no solo, que el uso masivo de clamidosporas de *D. flagrans* no produce efectos adversos en el ambiente, sino que además el hongo no sobrevive largos períodos en el mismo. *D. flagrans* y otras especies de hongos nematófagos utilizados como agentes de control biológico deben tenerse en cuenta como una medida profiláctica, ya que su acción se ve limitada a los estadios de vida libre de los nematodos gastrointestinales, por lo que debe combinarse con otras estrategias de control que actúen sobre las fases de vida parasitaria. Si bien es indudable que *D. flagrans* es el hongo con mayor potencial, otras especies como *Monacrosporium thaumasium*, *Arthrobotrys oligospora* y *Arthrobotrys conoides* también han demostrado eficacia en el control de nematodos gastrointestinales (Melo Magalhães *et al.*, 2003; Eslami *et al.*, 2005; Carvalho *et al.*, 2009; Ribeiro Braga *et al.*, 2010).

### Endoparásitos

Estos hongos se caracterizan porque sus hifas crecen únicamente dentro del nematodo, exceptuando las hifas fértiles que crecen en el exterior. Según la especie, las esporas pueden ser ingeridas para penetrar en el interior del nematodo y, posteriormente, germinar; las esporas se pueden adherir y perforar la cutícula del nematodo o pueden presentar zoosporas móviles que parecen tener un tropismo positivo hacia los nematodos (de Oliveira Tavela *et al.*, 2011).

Ensayos *in vitro* realizados con *Harposporium anguillulae* y *Drechmeria coniospora* demostraron una alta eficacia en la disminución de larvas en cultivos (Cezar *et al.*, 2008; Kelly *et al.*, 2009; Wachira *et al.*, 2009). Sin embargo, el carácter de

parásito obligado de este grupo de hongos limita su empleo como agentes de control biológico, ya que su dispersión, únicamente, se realiza por contacto directo entre individuos parasitados, necesitan un medio con alta concentración de agua para difundirse y aquellos que deben ser ingeridos solo serían activos contra los estadios parasitarios L1 y L2 que son los que se alimentan en el medio ambiente y no sobre la L3 infectante que al presentar cutícula doble no se alimenta y, por tanto, no sería atacada (Arroyo Balán *et al.*, 2008; Ribeiro Braga *et al.*, 2010).

### Ovicidas

Los hongos ovicidas pueden ser usados para el control biológico de nematodos parásitos y especialmente nematodos fitopatógenos. En su mayoría son saprófitos, por lo que no dependen de la presencia de huevos en el medio; la mayoría de los estudios se han enfocado en la colonización de quistes conteniendo huevos de nematodos fitopatógenos (Milani Araújo *et al.*, 2009). Existe un pequeño grupo de hongos especializados en el parasitismo de huevos de nematodos parásitos, entre los que se encuentra *Verticillium chlamydosporium*, capaz de infectar huevos de *Ascaris lumbricoides* (Ribeiro Braga *et al.*, 2010). Silva *et al.*, (2010) propusieron dos (2) mecanismos de acción de penetración del hongo en el huevo: a través de la formación de un órgano específico de penetración en el sitio de contacto de la hifa con la cáscara del huevo o a través de una simple penetración de la hifa vegetativa a través de la cáscara del huevo.

Milani Araújo *et al.*, (2009) aislaron varios géneros de hongos ovicidas siendo *Paecilomyces lilacinus* el que mejores resultados presentó para infectar huevos de *Toxocara spp.* Ensayos *in vitro* realizados con *Pochonia chlamydosporia* demostraron que este hongo destruye eficazmente huevos de *Trichuris vulpis* y sumado a esto se destacó la posible contribución en la disminución de la contaminación ambiental (Silva *et al.*, 2010).

### Administración de hongos nematófagos

#### **Pellets de alginato de sodio**

Una forma de administración estudiada con éxito en varias especies de animales domésticos es la incorporación de hongos nematófagos en *pellets* de alginato de sodio. De Oliveira Tavela *et al.*, (2013) demostraron que la incorporación de estos hongos en los *pellets* no afectó su capacidad predatora. Las especies de hongos nematófagos incorporadas con éxito en los *pellets* han sido *Monacrosporium thaumasium* y *Arthrobotrys robusta*. Después de administrar *pellets* conteniendo *A. robusta* por vía oral a ovinos, se ha logrado aislarlo en materia fecal, demostrando que el pasaje a través del tracto gastrointestinal no afecta la capacidad predatora del hongo (Ribeiro Braga *et al.*, 2011).

De Araújo *et al.*, (2004) incorporaron *D. flagrans* y *M. thaumasium* respectivamente en *pellets* de alginato para ser administrados a ovinos con el fin de controlar larvas de *Haemonchus contortus*. Los ovinos utilizados recibieron una dosis oral de 1 g de *pellets* por 5 kilogramos de peso vivo una vez a la semana durante seis (6) meses, demostrando reducciones significativas en el número de huevos de nematodos en materia fecal y de larvas en los coprocultivos. La reducción significativa del número de larvas de *H. contortus* usando *pellets* de alginato conteniendo *D. flagrans* y *M. thaumasium* hace que este tipo de tratamiento pueda ser usado como una herramienta para el control biológico de nematodos gastrointestinales en ovinos.

#### **Bolos de liberación controlada**

Otra forma de administración de hongos nematófagos puede ser a través de bolos de liberación controlada (BLC) usados como dispositivos intrarruminales. Flores Crespo *et al.*, (1999) demostraron que las clamidosporas de *D. flagrans* fueron capaces de sobrevivir las presiones de fabricación al ser incorporadas dentro de matrices en la fabricación de prototipos intrarruminales de BLC donde las clamidosporas permanecieron viables durante nueve (9) meses dentro de los BLC almacenados a 4 °C. En estudios *in vivo* se observó que los bolos liberaron clamidosporas viables de forma constante hasta 23 días después de su colocación en el rumen; pasado ese período el dispositivo dejó de liberar clamidosporas correctamente (Baloyi *et al.*, 2012).

En el futuro se podrían usar los BLC si la contaminación de los pastos fuera riesgosa por la posible aparición de altas cantidades de larvas infectivas, la liberación de las clamidosporas por materia fecal sería, entonces, efectiva para disminuir el número de larvas migrando desde la materia fecal hacia las pasturas.

### Granos de cereales con hongos nematófagos

Los granos de cereales proveen un sustrato ideal para el crecimiento y producción de gran cantidad de esporas de hongos nematófagos. Ketzis *et al.*, (2006) administraron diariamente cinco (5) g de cebada con  $3 \times 10^6$  clamidosporas durante cinco (5) días, resultando suficiente para disminuir el número de larvas en materia fecal, cuando la misma fue cultivada en agar agua. Este método puede llegar a utilizarse en sistemas intensivos o cuando el estabulado constante de los animales forma parte de la rutina de manejo. Otra opción de aplicación sería mediante la suplementación en períodos nutricionalmente críticos para los animales, tales como el destete y el parto, períodos en que la excreción de huevos de parásitos por materia fecal es mayor (Oliva Carvalho *et al.*, 2011).

### Bloques energéticos

González *et al.* (2005) incorporaron clamidosporas de *D. flagrans* en bloques energéticos. Se evaluaron a través de pruebas de eficacia la administración del mismo en ovinos donde explotaciones extensivas fueron contaminadas a partir de animales parasitados, una superficie alimentó animales que recibieron bloques con hongos y de otra, animales que recibieron bloques sin hongos; posteriormente, los animales fueron retirados y se introdujeron dos (2) grupos de animales libres de parásitos que permanecieron un mes pastoreando. Finalizado este período, se analizaron los animales para determinar el número y las especies de nematodos presentes en el tracto gastrointestinal, el porcentaje de eficacia del hongo sobre el total de la población parasitaria susceptible fue del 92%. Los bloques minerales como forma de administración de agentes de control biológico podrían utilizarse en producciones extensivas donde los animales son criados en pastoreo y su administración podría

realizarse en los momentos en que la contaminación de la pastura es un riesgo para la salud animal (Ojeda-Robertos *et al.*, 2008).

### Bloques minerales

*D. flagrans* fue incorporado con éxito en bloques minerales. Bogum *et al.* (2005) usaron ovinos que consumían el bloque mineral antes del inicio del tratamiento donde el hongo sobrevivió, en el bloque mineral, un mínimo de 18 semanas, cuando era almacenado a 4 °C. Un importante punto a considerar es el tiempo de vida de las esporas en los bloques, debido a su posible germinación si existiera humedad en el ambiente.

Las ventajas que presenta la administración de bloques minerales conteniendo clamidosporas de *D. flagrans* son el bajo costo y el doble propósito de su fabricación, ya que además de ser suplemento nutricional, es un vehículo ideal para los hongos nematófagos. Las desventajas de esta forma de administración son la variación del consumo que existe entre los animales y que es necesario su almacenamiento a una temperatura de 4 °C para evitar la absorción de humedad y la germinación de las clamidosporas, con la consecuente pérdida de la eficacia del bloque (Beynon, 2012). Los bloques minerales con clamidosporas podrían ser una forma de administración en sistemas productivos donde los animales son criados en pastoreo y podrían administrarse en los períodos de máxima contaminación de las pasturas para evitar así los picos de infectividad larvaria (Teixeira *et al.*, 2013).

### Conclusiones

El acelerado incremento de casos de resistencia antihelmíntica y la creciente demanda de alimentos inocuos para la salud humana y que sean obtenidos con tecnologías amigables con el medio ambiente aumentan la necesidad de encontrar una alternativa para el control de las parasitosis gastrointestinales en los ovinos. Las investigaciones actuales se están centrando en la obtención de una forma de administración que sirva como vehículo para los hongos nematófagos capaces de atrapar y destruir larvas de nematodos gastrointestinales en la materia fecal. *D. flagrans* no es la única especie capaz de realizar el control

biológico de nematodos gastrointestinales, como ha sido demostrado. En consecuencia, estudios con otras especies deberán ser estimulados.

Es claro que el control biológico no elimina la totalidad de los parásitos; sin embargo, es necesario evaluar su uso y conveniencia, considerando que a pesar de no actuar como los antihelmínticos eliminando más del 90% de los parásitos adultos en el animal, diversas investigaciones han demostrado que este método aplicado en campo alcanza niveles de eficacia que varían entre el 60 y 90% sobre la población de larvas infectantes en las pasturas. Dado que más del 95% de la población total de parásitos se encuentra en el ambiente, el control biológico actuaría sobre el punto de mayor importancia para el control de los nematodos gastrointestinales. Por otro lado, en Colombia los estudios de aislamiento e identificación de hongos nematófagos son escasos y no se pueden introducir especies fúngicas foráneas, porque dicha acción incrementaría el problema sanitario y provocaría una alteración ambiental en la región.

### Referencias bibliográficas

Arias M., Cazapal-Monteiro C., Valderrábano E., Miguélez S., Rois J.L., López-Arellano M.E., Madeira de Carvalho L., Mendoza de Gives P., Sánchez-Andrade R., Paz-Silva A. A Preliminary study of the biological control of Strongyles affecting equids in a zoological park. *J Equ Vet Scien* 2013; 33: 1115-1120.

Arias M.S., Suárez J., Cazapal-Monteiro C.F., Francisco I., Lopez-Arellano M.E., Piñeiro P., Suarez J.L., Sánchez-Andrade R., Mendoza de Gives P., Paz-Silva A. Trematodes enhance the development of the nematode-trapping fungus *Arthrobotrys (Duddingtonia) flagrans*. *Brit Mycol Soc* 2013; 117: 540-544.

Arroyo Balán F.L., Mendoza de Gives P., López Arellano M.E., Liébano Hernández E., Vázquez Prats V., Miranda Miranda E., Ortiz de Montellano A.M. Evaluación de un método combinado de control de la hemoncosis ovina en condiciones controladas. *Tec Pec Mex* 2008; 46 (2): 217-223.

Assis R.C.L., Luns F.D., Araújo J.V., Braga F.R. Biological control of trichostrongyles in beef cattle by the nematophagous fungus *Duddingtonia*

*flagrans* in tropical southeastern Brazil. *Exp Parasitol* 2012; 132: 373-377.

Assis R.C.L., Luns F.D., Araújo J.V., Braga F.R., Assis R.L., Marcelino J.L., Freitas P.C., Andrade M.A.S. Comparison between the action of nematode predatory fungi *Duddingtonia flagrans* and *Monacrosporium thaumasium* in the biological control of bovine gastrointestinal nematodiasis in tropical southeastern Brazil. *Vet Parasitol* 2013; 193: 134-140.

Baloyi M.A., Laing M.D., Yobo K.S. Use of mixed cultures of biocontrol agents to control sheep nematodes. *Vet Parasitol* 2012; 184: 367-370.

Beynon S.A. Potential environmental consequences of administration of anthelmintics to sheep. *Vet Parasitol* 2012; 189: 113-124.

Bogum M.I., Czygier M., Kedra E., Samborski J. In vitro assessment of the influence of nutrition and temperature on growing rates of five *Duddingtonia flagrans* isolates, their insecticidal properties and ability to impair *Heligmosomoides polygyrus* motility. *Exp Parasitol* 2005; 109: 115-123.

Burke J.M., Miller J.E., Larsen M., Terrill T.H. Interaction between copper oxide wire particles and *Duddingtonia flagrans* in lambs. *Vet Parasitol* 2005; 134: 141-146.

Carvalho R.O., Araújo J.V., Braga F.R., Ferreira S.R., Araújo J.M., Silva A.R., Frassy L.N., Alves C.D.F. Biological control of Ancylostomosis in dogs using the nematode-trapping fungus *Monacrosporium thaumasium* in southeastern Brazil. *Vet Parasitol* 2009; 165: 179-183.

Casillas-Aguilar, J.A.; Mendoza- De Gives, P; Lopez-Arellano, M.E; Liébano-Hernandez, E. Evaluation of Multinutritional Pellets Containing *Duddingtonia flagrans* Chlamydo-spore for the Control of Ovine Haemonchosis. *Ann Ny Acad Sci*, 2008; 1149: 161-163.

Chandrawathani P., Omar J., Waller P.J. The control of the free-living stages of *Strongyloides papillosus* by the nematophagous fungus, *Arthrobotrys oligospora*. *Vet Parasitol* 1998; 76: 321-325.

Cezar A.S., Catto J.B., Bianchin I. Controle alternativo de nematódeos gastrintestinais dos ruminantes: atualidade e perspectivas. *Cien Rural* 2008; 38 (7): 2083-2091.

Cruz D.G., Silva C.P., Carneiro C.N.B., Retamal C.A., Thiébaud J.T.L., DaMatta R.A., Santos C.P. Acid phosphatase activity during the interaction of the nematophagous fungus *Duddingtonia flagrans* with the nematode *Panagrellus* sp. *J Invert Path* 2009; 102: 238-244.

De Araújo J.V., Pezzi Guimarães M., Kanadani Campos A., Chaves de Sá N., Sarti P., Lopes Assis R.C. Control of bovine gastrointestinal nematode parasites using pellets of the nematode-trapping fungus *Monacrosporium thaumasium*. *Cien Rural* 2004; 34 (2): 457-463.

De Oliveira Tavela A., Araújo J.V., Ribeiro Braga F., Silva A.R., Oliva Carvalho R., Milani Araújo J., Ferreira S.R., Ribeiro Carvalho G. Biological control of cyathostomin (Nematoda: Cyathostominae) with nematophagous fungus *Monacrosporium thaumasium* in tropical southeastern Brazil. *Vet Parasitol* 2011; 175: 92-96.

De Oliveira Tavela A., De Araújo J.V., Ribeiro Braga F., Ferreira da Silveira W., Dornelas e Silva V.H., Carretta Júnior M., Alcântara Borges L., Milani Araújo J., Dos Anjos Benjamin L., Ribeiro Carvalho G., Teixeira de Paula A. Coadministration of sodium alginate pellets containing the fungi *Duddingtonia flagrans* and *Monacrosporium thaumasium* on cyathostomin infective larvae after passing through the gastrointestinal tract of horses. *Res Vet Scie* 2013; 94: 568-572.

Eslami A., Ranjbar-Bahadori S., Zare R., Razzaghi-Abyaneh M. The predatory capability of *Arthrobotrys cladodes* var. *macroides* in the control of *Haemonchus contortus* infective larvae. *Vet Parasitol* 2005; 13: 263-266.

Eysker M., Bakker N., van der Hall Y.A., van Hecke I., Kooyman F.N.J., van der Linden D., Schrama C., Ploeger H.W. The impact of daily *Duddingtonia flagrans* application to lactating ewes on gastrointestinal nematodes infections in their lambs in the Netherlands. *Vet Parasitol* 2006; 141: 91-100.

Flores Crespo J., Herrera Rodríguez D., Vázquez Prats V., Martínez Gaytan J.C., Mendoza de Gives P. Capacidad nematófaga de dos cepas del hongo *Duddingtonia flagrans* desarrollada en harina de maíz-agar. *Vet Mex* 1999; 30 (2): 199-203.

González Garduño R., Mendoza de Gives P., Torres Hernández G., Becerril Pérez C., Ortega Jiménez E., Hernández Mendo O. Estudio in vitro de la capacidad depredadora de *Duddingtonia flagrans*

contra larvas de nematodos gastrointestinales de ovinos de pelo. *Tec Pec Mex* 2005; 43 (3): 405-414.

Hongyan S., Yu'e H., Minghe M., Keqin Z. The ecology of nematode-trapping hyphomycetes in cattle dung from three plateau pastures. *Vet Parasitol* 2007; 144: 293-298.

Jackson F., Miller J. Alternative approaches to control—Quo vadit?. *Vet Parasitol* 2006; 139: 371-384.

Kemper K.E., Elwin R.L., Bishop S.C., Goddard M.E., Woolaston R.R. *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* did not adapt to long-term exposure to sheep that were genetically resistant or susceptible to nematode infections. *Int J Parasitol* 2009; 39: 607-614.

Kelly P., Good B., Fitzpatrick R., Hanrahan J. P. De Waal T.D.T. Development and application of a PCR diagnostic assay for the accurate and rapid identification of the nematophagous fungus *Duddingtonia flagrans*. *Mycol Res* 2008; 112:1026-1030.

Kelly P., Good B., Hanrahan J.P., Fitzpatrick R., de Waal T. Screening for the presence of nematophagous fungi collected from Irish sheep pastures. *Vet Parasitol* 2009; 165: 345-349.

Ketzis J.K., Vercruyssen J., Stromberg B.E., Larsen M., Athanasiadou S., Houdijk J.G.M. Evaluation of efficacy expectations for novel and non-chemical helminth control strategies in ruminants. *Vet Parasitol* 2006; 139: 321-335.

Maciel A.S., Araújo J.V., Campos A.K., Lopes E.A., Freitas L.G. Predation of *Ancylostoma* spp. dog infective larvae by nematophagous fungi in different conidial concentrations. *Vet Parasitol* 2009; 161: 239-247.

Maciel A.S., Freitas L.G., Campos A.K., Lopes E.A., Araújo J.V. The biological control of *Ancylostoma* spp. dog infective larvae by *Duddingtonia flagrans* in a soil microcosm. *Vet Parasitol* 2010; 173: 262-270.

Manueli P.R., Waller P.J., Faedo M., Mahommed F. Biological control of nematode parasites of livestock in Fiji: screening of fresh dung of small ruminants for the presence of nematophagous fungi. *Vet Parasitol* 1999; 81: 39-45.

Mederos A., Waddell L., Sánchez J., Kelton D., Peregrine A.S., Menzies P., Van Leeuwen J., Rajic A. A systematic review-meta-analysis of primary



research investigating the effect of selected alternative treatments on gastrointestinal nematodes in sheep under field conditions. *Prev Vet Med* 2012; 104: 1-14.

Melo Magalhães L., Bevilaqua Leal C.M., de Araújo J.V., Melo Fonseca A.C. Atividade predatória do fungo *Monacrosporium thaumasium* contra o nematóide *Haemonchus contortus*, após passagem pelo trato gastrintestinal de caprinos. *Cien Rural* 2003; 33 (1): 169-171.

Milani Araújo J., De Araújo J.V., Ribeiro Braga F., Oliva Carvalho R., Ferreira S.R. Activity of the nematophagous fungi *Pochonia chlamydosporia*, *Duddingtonia flagrans* and *Monacrosporium thaumasium* on egg capsules of *Dipylidium caninum*. *Vet Parasitol* 2009; 166: 86-89.

Ojeda-Robertos N.F., Torres-Acosta J.F.J., Ayala-Burgos A., Aguilar-Caballero A.J., Cob-Galera L.A., Mendoza-de-Gives P. A technique for the quantification of *Duddingtonia flagrans* chlamydospores in sheep faeces. *Vet Parasitol* 2008; 152: 339-343.

Oliva Carvalho R., Ribeiro Braga F., Araújo J.V. Viability and nematophagous activity of the freeze-dried fungus *Arthrobotrys robusta* against *Ancylostoma* spp. infective larvae in dogs. *Vet Parasitol* 2011; 176: 236-239.

Orozco, M; Álvarez, V; Jiménez, A; Acuña, O. Evaluación in vitro de hongos nematófagos para el control biológico de nematodos gastrointestinales de rumiantes. *Rev MVZ Córdoba* 2009; 14(3): 1820-1830.

Paraud C., Cabaret J., Pors I., Chartier C. Impact of the nematophagous fungus *Duddingtonia flagrans* on *Muellerius capillaris* larvae in goat faeces. *Vet Parasitol* 2005; 131: 71-78.

Paz-Silva A., Francisco I., Valero-Coss R.O., Cortiñas F.J., Sánchez J.A., Francisco R., Arias M., Suárez J.L., López-Arellano M.E., Sánchez-Andrade R., Mendoza de Gives P. Ability of the fungus *Duddingtonia flagrans* to adapt to the cyathostomin egg-output by spreading chlamydospores. *Vet Parasitol* 2011; 179: 277-282.

Ribeiro Braga F., Araújo J.V., Silva A.R., Milani Araújo J., Oliva Carvalho R., Oliveira Tavela A., Kanadani Campos A., Ribeiro Carvalho G. Biological control of horse cyathostomin (Nematoda: Cyathostominae) using the nematophagous fungus *Duddingtonia flagrans* in

tropical southeastern Brazil. *Vet Parasitol* 2009; 163: 335-340.

Ribeiro Braga F., Ribeiro Silva A., Oliva Carvalho R., Araújo J.V., Guimaraes P.H., Fujiwara R., Frassy L. In vitro predatory activity of the fungi *Duddingtonia flagrans*, *Monacrosporium thaumasium*, *Monacrosporium sinense* and *Arthrobotrys robusta* on *Ancylostoma ceylanicum* third-stage larvae. *Vet Microbiol* 2010; 146: 183-186.

Ribeiro Braga F., Araújo J.V., Silva A.R., Oliva Carvalho R., Milani Araújo J., Ferreira S.R., Ribeiro Carvalho G. Viability of the nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia* after passage through the gastrointestinal tract of horses. *Vet Parasitol* 2010; 168: 264-268.

Ribeiro Braga F., Araújo J.V., Oliva Carvalho R., Silva A.R., Milani Araújo J., Feitas Soares F.E., André Geniêr H.L., Ferreira S.R., Queiroz J.H. Ovicidal action of a crude enzymatic extract of the fungus *Pochonia chlamydosporia* against cyathostomin eggs. *Vet Parasitol* 2010; 172: 264-268.

Ribeiro Braga F., Araújo J.V., Milani Araújo J., De Oliveira Tavela A., Ferreira S.R., Freitas Soares F.E., Benjamin L., Neme Frassy L. Influence of the preservation period in silica-gel on the predatory activity of the isolates of *Duddingtonia flagrans* on infective larvae of cyathostomins (Nematoda: Cyathostominae). *Exp Parasitol* 2011; 128: 460-463.

Ribeiro Braga F., de Freitas Soares F.E., Milani Araújo J., Abreu da Fonseca L., Hiura E., Garschagen Gava M., Toledo Vieira F., Saraiva da Paz J., de Carvalho L.M., Faccini J.V., de Queiroz J.H., Araújo J.V. Statistical experimental design to assess the influence of enzymes of nematophagous fungi versus helminths. *Res Vet Scie* 2014; 97: 527-532.

Ribeiro Vilela V.L., Ferreira Feitosa T., Ribeiro Braga F., de Araújo J.V., de Oliveira Souto D.V., da Silva Santos H.E., Longo da Silva G.L., Rodrigues Athayde A.C. Biological control of goat gastrointestinal helminthiasis by *Duddingtonia flagrans* in a semi-arid region of the northeastern Brazil. *Vet Parasitol* 2012; 188: 127-133.

Sagüés, M.F; Purslow, P; Fernández, S; Fuséa, L; Iglesias, L; Saumella, C. Hongos nematófagos utilizados para el control biológico de nematodos gastrointestinales en el ganado y sus formas de administración. *Rev Iberoam Micol* 2011; 28(4): 143-147.

Saumell C., Fusé L., Iglesias L., Steffan P., Fiel C. Alternativas adicionales al control químico de nematodos gastrointestinales en animales domésticos. *Vet Arg* 2009; 21: 80-84.

Silva A.R., Araújo J.V., Braga F.R., Alves C.D.F., Frassy L.N. In vitro ovicidal activity of the nematophagous fungi *Duddingtonia flagrans*, *Monacrosporium thaumasium* and *Pochonia chlamydosporia* on *Trichuris vulpis* eggs. *Vet Parasitol* 2010; 172: 76-79.

Soto-Barrientos N., de Oliveira J., Vega-Obando R., Montero-Caballero D., Vargas B., Hernández-Gamboa J., Orozco-Solano C. In-vitro predatory activity of nematophagous fungi from Costa Rica with potential use for controlling sheep and goat parasitic nematodes. *Rev Biol Trop* 2011; 59 (1): 37-52.

Teixeira de Paula A., Ribeiro Braga F., de Carvalho L.M., Teixeira Lelis R., Kramer de Mello I.N., de Oliveira Tavela A., de Freitas Soares Fillipe E., Maldonado Junior A., da Silva Garcia J., de Araújo J.V. First report of the activity of predatory fungi on *Angiostrongylus cantonensis* (Nematoda: Angiostrongylidae) first-stage larvae. *Act Trop* 2013; 127: 187-190.

Torres-Acosta, J; Molento, M; Mendoza De Gives, P. Research and implementation of novel approaches for the control of nematode parasites in Latin America and the Caribbean: Is there sufficient incentive for a greater extension effort? *Vet Parasitol* 2012; 186: 132-142.

Wachira P., Mibey R., Okoth S., Kimenju J., Kiarie J. Diversity of nematode destroying fungi in Taita Taveta, Kenya. *Fungal Ecol* 2009; 2: 60-65.