



Resultados y Lecciones en
Control de
Mosca de los Cuernos con
Extracto de Neem
Proyecto de Innovación en
Regiones Metropolitana,
de Valparaíso, del Maule y de Biobío



Fundación para la Innovación Agraria
MINISTERIO DE AGRICULTURA



Resultados y Lecciones en Control Biológico de la Mosca de los Cuernos en Bovinos con Extracto de Neem



Proyecto de Innovación en
**Regiones Metropolitana, de Valparaíso,
del Maule y del Biobío**

Valorización a diciembre de 2009



SERIE EXPERIENCIAS DE INNOVACIÓN PARA EL EMPRENDIMIENTO AGRARIO

Agradecimientos

En la realización de este trabajo agradecemos sinceramente la colaboración del equipo de la Corporación de Educación y Tecnología vinculado al proyecto, especialmente a:

- Raúl Venegas, Corporación de Educación y Tecnología (CET)
- Ignacio Briones, profesional de FIA encargado del proyecto precursor.

Resultados y Lecciones en

Control Biológico de la Mosca de los Cuernos en Bovinos con Extracto de Neem

Proyecto de Innovación en Regiones Metropolitana, de Valparaíso, del Maule y del Biobío

Serie **Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario**

FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Registro de Propiedad Intelectual N° 199.394

ISBN N° 978-956-328-078-4

ELABORACIÓN TÉCNICA DEL DOCUMENTO

Rodrigo Navarro, Sergio Lara y Félix Bórquez - BTA Consultores S.A.

REVISIÓN DEL DOCUMENTO Y APORTES TÉCNICOS

M. Francisca Fresno R. – Fundación para la Innovación Agraria (FIA)

EDICIÓN DE TEXTOS

Gisela González Enei

DISEÑO GRÁFICO

Guillermo Feuerhake

IMPRESIÓN

Ograma Ltda.

Se autoriza la reproducción parcial de la información aquí contenida, siempre y cuando se cite esta publicación como fuente.

Contenidos

Sección 1. Resultados y lecciones aprendidas	5
1. Antecedentes	5
1.1 Características biológicas	6
1.2 Impacto sobre la productividad	8
2. Base conceptual y metodológica de la herramienta	9
2.1 Estrategias de control.....	9
2.2 Resistencia a insecticidas	11
2.3 El extracto vegetal utilizado	12
2.4 Validación de la herramienta tecnológica	14
3. Conveniencia económica para el productor.....	15
3.1 Estrategia de control integrado	15
3.2 Oportunidades de mercado	16
4. Claves de viabilidad.....	17
5. Asuntos por resolver.....	18

Sección 2. El proyecto precursor	21
1. El entorno económico y social.....	21
2. El proyecto.....	23
2.1 Características generales	23
2.2 Validación del proceso	25
2.3 Situación actual	29

Sección 3. El valor del proyecto	31
---	----

ANEXOS	
1. Literatura consultada.....	34
2. Documentación disponible y contactos.....	36



SECCIÓN 1

Resultados y lecciones aprendidas

El presente libro tiene el propósito de compartir con los actores del sector los resultados, experiencias y lecciones aprendidas sobre el desarrollo de un producto de origen vegetal para el control de la “mosca de los cuernos” en el ganado bovino, a partir de un proyecto financiado por la Fundación para la Innovación Agraria FIA.

Se espera que esta información, que se ha sistematizado en la forma de una “innovación aprendida”,¹ aporte a los interesados una nueva herramienta tecnológica que les permita adoptar decisiones productivas y, potencialmente, desarrollar iniciativas relacionadas con este tema.

► 1. Antecedentes

La herramienta tecnológica presentada en este documento ha sido desarrollada a partir de los resultados, experiencias y lecciones aprendidas en la ejecución de un proyecto financiado por FIA (proyecto precursor²), ejecutado entre los años 2005 y 2009, denominado “Desarrollo de un sistema de control de la mosca de los cuernos (*Haematobia irritans* L.), mediante la utilización del extracto del árbol *Azadirachta indica* (neem) en rebaños productores de carne bovina”.

El objetivo de esta iniciativa fue desarrollar un método de control de este parásito hematófago mediante un extracto de origen botánico, de manera de reducir el uso de insumos químicos en el manejo sanitario preventivo que se aplica al ganado bovino.

La infestación masiva por la mosca de los cuernos produce un fuerte impacto económico dado por el malestar e incomodidad que ocasiona en el animal, el cual se traduce en menor consumo de alimento, mayor gasto energético y en otros factores como se verá a continuación.

¹ “**Innovación aprendida**”: análisis de los resultados de proyectos orientados a generar un nuevo servicio o herramienta tecnológica. Este análisis incorpora la información validada del proyecto precursor, las lecciones aprendidas durante su desarrollo, los aspectos que quedan por resolver y una evaluación de los beneficios económicos de su utilización en el sector.

² “**Proyecto precursor**”: proyecto de innovación a escala piloto financiado e impulsado por FIA, cuyos resultados fueron evaluados a través de la metodología de valorización de resultados desarrollada por la Fundación, análisis que se da a conocer en el presente documento. Los antecedentes del proyecto precursor se detallan en la Sección 2 de este documento.

1.1 Características biológicas

La mosca de los cuernos es un díptero de la familia Muscidae, de amplia distribución mundial, detectado en Chile por primera vez en el año 1968, en el valle de Lluta, Región de Arica y Parinacota, que luego desapareció, por lo cual se presumió que había sido identificada erróneamente. En 1993 el Servicio Agrícola y Ganadero de Chile (SAG) determinó su presencia en Parral, Región del Maule, donde ingresó, probablemente, por la frontera con Argentina, estableciéndose definitivamente en el país, desde la Región de Arica y Parinacota hasta la de Aysén (INIA, 1999).

Este es un insecto hematófago del ganado bovino, aunque eventualmente puede atacar a equinos, ovinos o incluso al hombre. Se ubican preferentemente en la zona del lomo, paletas y costillas, y siempre adoptan una posición con la cabeza hacia abajo (fotos 1 y 2). Permanecen día y noche sobre el animal, abandonándolo sólo para depositar sus huevos en las fecas.

Las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de la mosca son temperaturas entre 23 y 28 °C, humedad relativa superior a 65% y menor a 90%, precipitaciones cortas e intermitentes y ausencia de viento. En el cuerpo del hospedador la mosca busca aquellas zonas que alcanzan alrededor de 36 °C, lo que sucede preferentemente en animales de pelaje oscuro, ya que captan más calor. A temperaturas ambientales de 30 °C se pueden encontrar moscas en partes blancas o en cualquier región del cuerpo del animal (Schwabe, 2002). Otros autores no reportan diferencias en lo concerniente al color o raza, e indican factores individuales de origen desconocido.³



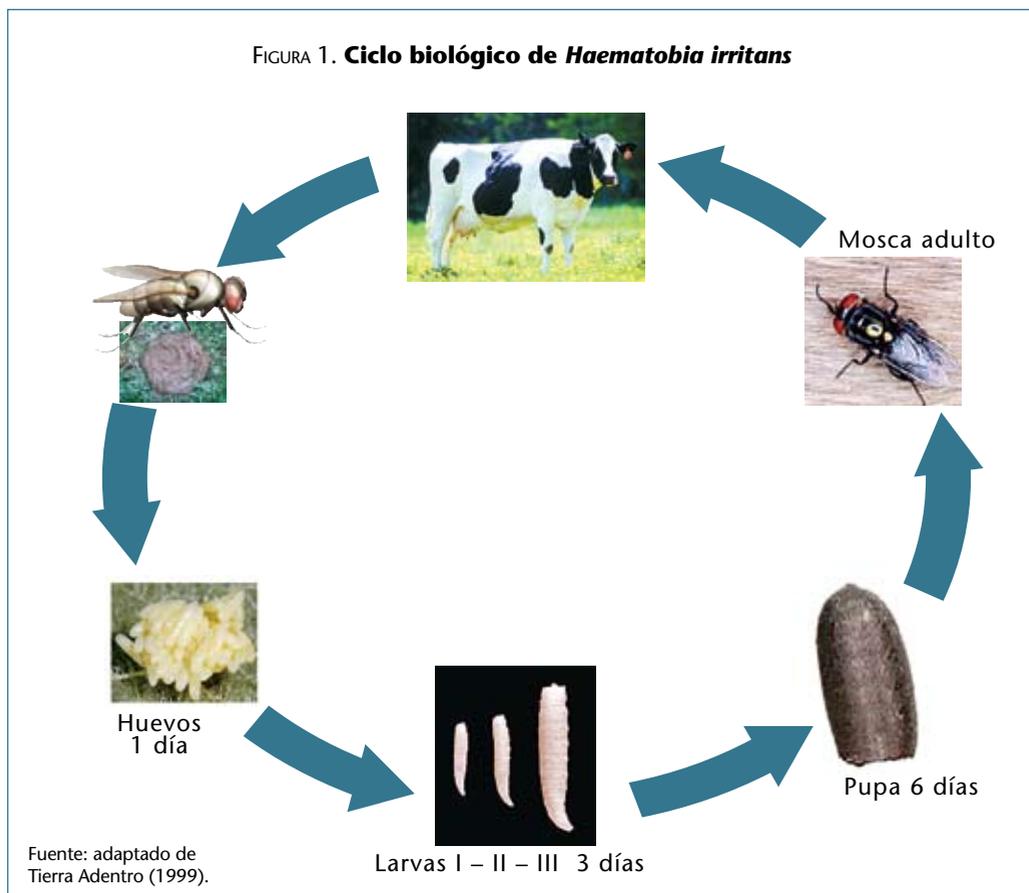
Foto 1. Mosca de los cuernos (*Haematobia irritans*)



Foto 2. Bovinos infestados con *Haematobia irritans*

El ciclo biológico de *H. irritans* comienza cuando los huevos son depositados en heces bovinas frescas (Figura 1). Los huevos son de aproximadamente 1,5 mm de largo, de color rojizo castaño y difícilmente distinguibles en el excremento. Cada hembra deposita grupos de 10 a 20 huevos en los bordes de la masa fecal, los cuales eclosionan después de 12 a 24 horas; el primer estadio larvario vive y se nutre del estiércol húmedo, donde la temperatura más adecuada para su desarrollo es de 27 a 33 °C. Luego muda a segundo y tercer estadio y posteriormente a pupa.

³ Comunicación personal con equipo ejecutor del proyecto precursor.



El desarrollo desde huevo a pupa toma entre 6 y 8 días, dependiendo de las condiciones de temperatura. En total, el período que transcurre entre el estado de huevo al de insecto adulto es de aproximadamente 9 a 12 días en verano y 45 días en los meses más fríos, ya que la duración del período de desarrollo muestra una correlación positiva con la temperatura. El insecto adulto puede vivir entre 2 a 7 semanas (Oyarzún, 2008). Pueden volar hasta 14 km desde el lugar donde nacieron, o incluso más si los vientos son favorables, por lo cual no existe barrera para su diseminación (Torres, 2004).

Hacia el final de la temporada estival, cuando la temperatura ambiental desciende, las pupas entran en un proceso de detención del desarrollo denominado “diapausa”, estado en el que una gran cantidad de pupas puede sobrevivir hasta la próxima temporada, resistiendo las condiciones ambientales desfavorables del otoño e invierno (Schwabe, 2002). Sin embargo, durante otoño e invierno se produce una considerable mortalidad de pupas dada la acción de enemigos naturales (aves, microavispa, hongos, escarabajos), disgregación de fecas por lluvias, pisoteo y rastra, así como por la reducción de su reserva energética. La supervivencia de la especie depende del número de pupas que entran en diapausa a fines del verano y que logran sobrevivir hasta la primavera siguiente.

Las condiciones apropiadas para el desarrollo de la mosca se encuentran a lo largo de todo Chile durante la primavera y el verano; sin embargo, es probable que el período de ataque sea más prolongado en la zona central que en la zona sur, por lo cual los métodos de control deben considerar las variaciones geográficas.

1.2 Impacto sobre la productividad

La mosca de los cuernos es considerada uno de los ectoparásitos de animales de pastoreo más importantes y económicamente dañinos; mediante su aparato bucal perforador succionador se alimenta 20 a 35 veces diarias e ingiere hasta 21 mg de sangre. La presencia de abundante cantidad de moscas, como suele ocurrir en la época de verano, provoca una permanente irritación que desmejora el estado general de los animales y causa molestias que se manifiestan en constantes movimientos de defensa que realizan con la cabeza y la cola, así como con patadas, contracciones cutáneas y movimientos de las orejas. Este aumento de la actividad hace que los animales interrumpan su alimentación o descanso, destinando energía a luchar contra estos parásitos, por lo que no pueden realizar un pastoreo normal. Ello repercute negativamente sobre el consumo de alimento y la rumia, e impacta en el rendimiento productivo general (Zaramati, 2002).

La irritación causada por las frecuentes picadas puede derivar en efectos fisiológicos que provocan reducción en la producción de leche, deficiencia en la conversión de los alimentos, disminución de la ganancia de peso, disminución de la libido y mayor susceptibilidad a otras patologías como la mastitis, con el consecuente daño económico que ello implica (Velasco *et al.*, 2001). Otro efecto ocasionado por las picaduras son las heridas, que pueden originar infecciones bacterianas secundarias o contaminación con larvas de otras especies de moscas, dañando la calidad de los cueros (Zaramati, *op. cit.*).

Aunque existe un amplio consenso en torno a que la infestación de moscas afecta la productividad, la cuantificación de este efecto ha entregado resultados diversos e incluso contradictorios por las diferentes metodologías, condiciones de manejo y nivel de parasitismo (Oyarzún, 2008). En el Cuadro 1 se detallan algunos resultados extraídos de la literatura.

CUADRO 1. Impacto productivo-económico de *Haematobia irritans* sobre el ganado bovino

Autor	IMPACTO ESTIMADO	
	Productivo	Económico
Byford <i>et al.</i> 1992	–	US\$ 730 millones anuales (Estados Unidos)
DeRouen <i>et al.</i> , 1995	-12 kg en terneros	–
DeRouen <i>et al.</i> , 2003	-7 kg en terneros	–
Guglielmone <i>et al.</i> , 1998	-4 a 12% en producción de leche	–
Harvey y Brethour, 1979	-10 kg en terneros	–
Kunz <i>et al.</i> , 1984		
DeRouen <i>et al.</i> , 2003	–	US\$ 1,16 a 25,60/animal
Haufe, 1982	-2 kg en terneros	–
Jonsson y Mayer, 1999	-520 ml/día en producción de leche	–
Kunz <i>et al.</i> , 1984	-12,5 kg en terneros	–
López y Romano, 1993	-0,166 kg/día en novillos	–
Sanson <i>et al.</i> , 2003	-10 kg en terneros	–
Schreiber <i>et al.</i> , 1987	Sin impacto en peso	-
Steelman <i>et al.</i> 1991	-8,1 kg en terneros/100 moscas/animal	–
Van Oppen, 2001	- 5 a 22% en peso	–
Vanzini <i>et al.</i> , 1997	–	US\$ 3,5 millones/millón de cueros (Uruguay)
Velasco <i>et al.</i> , 2001	-3% en peso; -4% en producción de leche	US\$ 24,5 millones/año (Chile)

Es fundamental conocer el umbral económico que justifica el tratamiento del ganado afectado para evitar pérdidas económicas de importancia; sin embargo, no existe un consenso al respecto y, según diversos autores, se encontraría en algún punto de infestaciones promedio de 50 a 300 moscas por animal. Se afirma también que los mayores perjuicios en bovinos en crecimiento ocurren cuando se supera una infestación promedio de 230 moscas por animal (Barros *et al.*, 2002).

Las investigaciones que estiman el umbral económico de tratamiento presentan una serie de dificultades metodológicas, como:

- los bovinos tratados y los controles no pueden ser mantenidos en el mismo terreno, por lo cual las condiciones ambientales que enfrentan no son exactamente iguales;
- la infestación con otros dípteros hematófagos como *Stomoxys calcitrans* (mosca de los establos) es frecuente en áreas con moscas de los cuernos, por lo que no hay claridad acerca del origen de las pérdidas;
- la infestación con cantidades conocidas de moscas bajo condiciones de laboratorio es de difícil ejecución;
- el establecimiento de sistemas de evaluación de los mismos vacunos antes y después del tratamiento bajo condiciones de campo, son sólo factibles de realizar por períodos cortos de tiempo y, cualquier cambio climático o de alimentación en ese período dificulta hacer inferencias válidas acerca de los resultados.

Si se logra determinar el umbral de daño económico, no necesariamente será aplicable en forma directa a otras situaciones; por ello, se considera que la mejor alternativa es utilizar la información sobre distribución estacional de cada situación particular para la recomendación de tratamientos (Barros *et al.*, *op. cit.*).

► 2. Base conceptual y metodológica de la herramienta

2.1 Estrategias de control

Se pueden distinguir tres tipos de métodos de control: químicos, biológicos y mecánicos.

Métodos químicos

El uso de insecticidas es el método más comúnmente utilizado; destaca el uso de piretroides y organofosforados. Para su aplicación existen diversos procedimientos adaptados a las diferentes condiciones de las explotaciones ganaderas.

Los piretroides se sintetizan a partir de compuestos que se encuentran en las flores del piretro (*Chrysanthemum cinerariaefolium*). Se reconoce su capacidad antiparasitaria dada principalmente por su alta especificidad por los insectos y baja toxicidad para los mamíferos. Entre ellos se encuentra la aletrina, permetrina, cipermetrina, deltametrina y fenotrina, entre otros, los cuales se utilizan en los productos pour-on, que actúan en forma percutánea ya que se distribuyen sobre la superficie del cuerpo del animal y actúan sobre los parásitos por contacto, por ingestión o por vapores (Zaramati, 2002).

Los insecticidas organofosforados son ésteres o amidas de ácidos fosfóricos. Desde el punto de vista químico se clasifican en fosfatos, pirofosfatos, tiofosfatos y ditiofosfatos, entre otros. Su acción es de carácter sistémico, por lo que al encontrarse en la circulación sanguínea dejan residuos en la carne y leche de los animales tratados (Zaramati, 2002).

La mayoría de los insecticidas incorpora compuestos sinérgicos como el piperonil butóxido (PBO), cuyo objetivo es aumentar la efectividad de los piretroides y reducir la dosis letal en cepas resistentes. La utilización de avermectinas y milbemicinas tiene la ventaja de presentar un efecto larvicida, que permite el control del insecto en sus primeros estados de desarrollo en la materia fecal; sin embargo, por excretarse a través de la glándula mamaria limita su uso en la producción lechera. Otro insecticida introducido más recientemente es el clorfenapir, derivado pirrólico muy efectivo en el control de la mosca, pero extremadamente tóxico (Oyarzún, 2008).

Según su forma de aplicación, en el mercado se encuentran:

- **Tratamientos de aspersión:** suspensiones o emulsiones basadas en insecticidas organofosforados o piretroides sintéticos (Foto 3).
- **Tratamientos de derrame dorsal:** es el más recomendado por su sencillez de aplicación y seguridad, tanto para los animales tratados como para el personal. Se denomina “pour-on” en el caso que el producto se aplique sobre la línea media dorsal del animal, desde la cruz hasta la base de la cola (Foto 4), y como “spot-on” cuando se aplica en un solo punto del dorso, habitualmente en la cruz.
- **Tratamientos de espolvoreo, bolsa colgante o “dust-bag”:** se aplican por medio de una bolsa que contiene una formulación en polvo, la cual se cuelga en un lugar de paso obligado de los animales; el insecticida se aplica por contacto sobre cabeza, columna vertebral y flancos.
- **Autocrotales con insecticidas:** es uno de los métodos de control más utilizados en sistemas extensivos, dada su simplicidad y larga duración; el insecticida es formulado en una matriz de un polímero, a partir del cual se libera lentamente por un período prolongado y se distribuye sobre la capa pilosa del animal.



Foto 3. Aplicación de tratamiento por aspersión



Foto 4. Aplicación de tratamiento pour-on

Métodos biológicos

El control biológico se puede efectuar por medio de la esterilización de machos por irradiación o mediante la utilización de especies de distintas familias de insectos y ácaros que, en contacto con las moscas, pueden actuar como (Zaramati, 2002):

- **Parasitoides:** organismos que alternativamente son parásitos o de vida libre. Introducidos en estadio de huevos desarrollan una larva que destruye las pupas de la mosca de los cuernos. Por ejemplo, el género de microavispa *Muscidifurax*.
- **Depredadores:** los adultos de la avispa *Spalangia* se comportan como atacantes del estado adulto de la mosca de los cuernos.
- **Competidores por el sustrato:** compiten por la fuente alimentaria de las larvas. Por ejemplo, numerosas especies de familias de dípteros y coleópteros estercoleros (*Scarabaeidae* y *Aphodiidae*).
- **Desecadores del sustrato:** organismos que, como las lombrices de tierra, perforan galerías en el interior de las fecas, lo cual facilita su deshidratación y pérdida de sus cualidades de amortiguador térmico.

Métodos mecánicos

Existen trampas mecánicas y eléctricas que han demostrado la misma eficiencia que los insecticidas, aunque requieren cierto nivel de tecnología para su utilización, lo cual impide una difusión masiva en todo tipo de productores (Oyarzún, 2008).

La planificación y acción de los tratamientos conducen a diferenciarlos entre tácticos y estratégicos. Los tácticos requieren de una acción inmediata, provocada por la ocurrencia de niveles de infestación considerados dañinos por quien debe tomar la decisión, independiente de si el umbral está científicamente justificado o no. El tratamiento estratégico se basa en conocimientos epidemiológicos que permiten identificar las épocas de mayor peligro de daño económico y trata de evitarlos.

Bajo estas circunstancias, los manejos estratégicos apuntan a evitar la ocurrencia de aumentos poblacionales de las moscas. Dichos tratamientos pueden ser implementados una vez superado un nivel preestablecido de infestación de las poblaciones de moscas evaluadas periódicamente. Por el contrario, un manejo táctico se basa en el monitoreo de la población de moscas y se efectúa el tratamiento una vez alcanzado el nivel seleccionado de presunción de daño (Barros *et al.*, 2002).

2.2 Resistencia a insecticidas

En Chile y en el mundo el control de la mosca de los cuernos se ha realizado principalmente a base de insecticidas del tipo piretroides, los cuales se aplican rutinariamente cuando la infestación es masiva. Sin embargo, su uso excesivo ha provocado el desarrollo de resistencia por parte del parásito, con lo cual ha disminuido la eficiencia del control. Algunos estudios han demostrado una reducción en el período de protección de permetrina 10% y cipermetrina 6 y 15% cuando son aplicados en forma pour-on o spot-on. En la actualidad los productores han comenzado a aplicar insecticidas organofosforados tales como ethion y diazinon en forma de crotales impregnados, sin embargo, se ha informado disminución del período de protección (Oyarzún, *op. cit.*).

El desarrollo de resistencia en la mosca de los cuernos se lleva a cabo a través de una variedad de mecanismos bioquímicos, fisiológicos y conductuales. El principal mecanismo en el caso de de resistencia a piretroides es la insensibilidad del sitio activo o “knockdown resistance”, que consiste en una disminución de la sensibilidad del sistema nervioso al insecticida, debido a su menor accesibilidad al sitio activo. Otros mecanismos de resistencia involucran la detoxificación del insecticida y el desarrollo de repelencia, mediante la cual los insectos se refugian en áreas del animal no expuestas al producto (Oyarzún, 2008).

El desarrollo de resistencia a los insecticidas ha derivado en la búsqueda y experimentación con métodos alternativos de control, tales como trampas mecánicas, controladores biológicos y selección de animales resistentes. El control basado exclusivamente en el uso de productos químicos no es sostenible en el mediano y largo plazo, debido factores como la resistencia generada a los insecticidas, el elevado costo económico del desarrollo de nuevos principios activos para la industria farmacéutica, la improbabilidad de encontrar moléculas aún más eficaces que las actuales, así como la conciencia de los consumidores acerca del daño que producen los residuos químicos, tanto en la salud humana como en el medioambiente (Oyarzún, *op. cit.*). En este sentido, el uso de insecticidas de origen vegetal surge como una alternativa eficaz en un esquema de manejo integrado de plagas.

2.3 El extracto vegetal utilizado

El extracto botánico azadirachtin proviene del neem⁴ (*Azadirachta indica*), árbol perteneciente a la familia Meliaceae, originario de los países tropicales del sudeste asiático (Foto 5). Presenta propiedades insecticidas y farmacológicas ampliamente documentadas, con gran potencial de uso en los sistemas de producción sostenible de las regiones tropicales. Los compuestos activos se encuentran en toda la planta, aunque con mayor concentración en las semillas, y son la base para la preparación de una amplia variedad de insecticidas orgánicos, incluyendo garrapaticidas.



Foto 5. Árbol, frutos y flores del neem (*Azadirachta indica*)

⁴ Denominado también margosa, lila india o nim, en español.

El principio activo azadirachtin es uno de los más antiguos en ser aislado y utilizado para el combate de insectos y algunos nemátodos. Su estructura se asemeja a la ecdysona, hormona de los insectos que controla el proceso de metamorfosis. Su mecanismo de acción consiste en el bloqueo de procesos metabólicos que inhiben el desarrollo normal del insecto, por lo cual no puede completar su ciclo de vida, y muere. Por estas razones se ha utilizado en el control de plagas de cultivos, así como en el control de algunos ectoparásitos del ganado doméstico, como la "mosca de los establos" (*Stomoxys calcitrans*), que afecta a los equinos, y la "mosca de los cuernos" (*Haematobia irritans*) que parasita a los bovinos (NRC, 1992).

El árbol se ha utilizado como cerco vivo alrededor de los corrales del ganado por su efecto en el control de la garrapata, práctica ampliamente validada. Se han descrito cambios de comportamiento en los animales mantenidos en corrales de manejo, vinculados a la existencia de árboles de neem, entre otros: buscan descansar bajo su sombra, las vacas oscuras desplazan a las claras en la lucha por la sombra del árbol, incluso los caballos prefieren la sombra del neem y cocean menos cuando están debajo de ella (Romero, 2008).

El uso de los constituyentes químicos de las semillas del neem ha servido eficientemente en el manejo de plagas y enfermedades de las plantas, especialmente de lepidópteros. El aceite es el producto comercial de mayor importancia y el residuo que queda después de su extracción (la torta de neem), es empleada en agricultura como fertilizante, al igual que las hojas.

Existen diversos métodos de aplicación de los extractos del árbol, como spray, polvo o diluidos en sistemas de irrigación; además son aplicados a las plantas por inyección o tópicamente, para el control de insectos y enfermedades. También se han adicionado hojas de neem en la preparación de bloques nutricionales, los cuales se suministran a bovinos en pastoreo como suplementación alimenticia, con el objeto de controlar nemátodos gastrointestinales.

Diversos estudios sobre el efecto del aceite de neem en el control de parásitos externos del ganado, indican que tanto las moscas de los cuernos y de los establos, así como mosquitos *Anopheles*, son repelidos de los animales tratados con aspersiones de aceite de neem en dosis de 1 ml/kg peso vivo, los cuales se mantienen libres de moscas por períodos de 3 a 4 días después de aplicados.

Azadirachtin no es fitotóxico y no presenta efectos negativos sobre arañas, mariposas, insectos polinizadores, abejas y controladores biológicos como microavispa y *Coccinellidae*, entre otros. Los productos del neem necesitan ser ingeridos para ser efectivos, así los insectos que se alimentan del tejido de las plantas mueren, mientras que aquellos que se alimentan de néctar u otros insectos, raramente acumulan concentraciones letales. Tampoco se han observado efectos negativos en lombrices, aves y organismos acuáticos (De Sousa Nogueira y Palmério, 2001).

En Estados Unidos el extracto azadirachtin se registró en el año 1985 y actualmente existen 25 productos comerciales de uso agrícola. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de ese país clasificó el principio activo en las categorías III y IV, es decir de toxicidad media a baja, en una escala donde el tipo I presenta la mayor toxicidad para la salud humana. No se han reportado efectos negativos sobre el ambiente o insectos. Sin embargo, como parte de un programa de revisión de los registros sanitarios de los pesticidas, se abrió un expediente para la reevaluación de sus efectos sobre la salud humana, pues se consideró que la información disponible es insuficiente. Dicha investigación se encuentra en curso y aún no hay una calificación definitiva del producto (EPA, 2008).

En Chile existe un producto comercial autorizado por el SAG, denominado neem-X®, indicado para el control de plagas como enrollador de la vid, chanchitos blancos, falsa araña de la vid y trips, entre otros, para gran variedad de especies frutales y hortalizas.⁵

2.4 Validación de la herramienta tecnológica

El propósito general del proyecto precursor fue desarrollar un método de control de *Haematobia irritans* mediante la utilización del extracto vegetal azadirachtin; este insecticida biológico persigue reducir eficazmente la carga parasitaria y, a la vez, disminuir el uso de insumos químicos, cumpliendo con estándares de bienestar animal y cuidado del ambiente.

Los resultados del proyecto precursor permitieron llegar a la formulación de un producto en forma de bolos intrarruminales, de liberación lenta en el aparato gastrointestinal de bovinos de carne. Esta forma de aplicación oral permite que se alcancen concentraciones efectivas durante períodos prolongados de hasta 70 días. El producto liberado se mezcla con el contenido ruminal y es expulsado en las fecas, de modo que las larvas de la mosca que emergen en la materia fecal toman contacto con el producto, no pueden completar su desarrollo y mueren.

Los resultados fueron consistentes con la reducción efectiva de larvas emergidas, tanto en condiciones *in vitro* como *in vivo*, por lo que se confirmó una reducción significativa en el número de moscas adultas presentes sobre los animales. Los ensayos realizados mostraron que los animales tratados tuvieron ganancias de peso superiores a los no tratados, lo que ratifica la efectividad del producto y el impacto del control de la mosca de los cuernos sobre la productividad del ganado.

El protocolo recomendado para la utilización del producto consiste en suministrar dos cápsulas vía oral mediante una pistola lanza bolos (Foto 6), durante la temporada de verano en la cual se produce el mayor nivel de infestación de *Haematobia irritans*. Con ello se lograría un control efectivo mediante la reducción de la población de adultos hasta niveles considerados no dañinos para el bienestar y rendimiento productivo del bovino. Este esquema terapéutico puede ser complementario al uso estratégico de insecticidas químicos y controles biológicos o mecánicos, a fin de reducir la resistencia y evitar el uso masivo de insumos químicos.

Los estudios realizados demostraron que este producto no genera residuos detectables en músculo, por lo cual podría ser utilizado en bovinos de carne sin período de resguardo.



Foto 6. Introducción de cápsulas intrarruminales vía oral

⁵ Ver en: <www.sag.cl> - Registros y autorizaciones - Plaguicidas - Publicaciones y documentos - Listas - Lista de plaguicidas autorizados. [Consulta: diciembre, 2009].

► 3. Conveniencia económica para el productor

3.1 Estrategia de control integrado

Las conclusiones extraídas de los estudios realizados son válidas y aplicables a cualquier rebaño bovino donde exista un grado considerable de infestación. De acuerdo a la literatura, en Chile la mosca de los cuernos se distribuye desde la Región de Arica y Parinacota hasta Aysén, y afecta tanto a ganado de carne como de leche, en confinamiento o pastoreo (INIA, 1999). Por lo tanto, de acuerdo al VII Censo Agropecuario y Forestal de 1997 (INE [en línea]), existen 124.958 ganaderos bovinos que podrían utilizar este producto para el control de esta plaga; sin embargo, la recomendación para su tratamiento se limita a aquellas zonas o predios con alta carga parasitaria, donde la acción de la mosca provoca pérdidas productivas considerables.

La utilización del principio activo azadirachtin permite diseñar estrategias de control de la mosca de los cuernos a través de distintos mecanismos, a fin de aumentar la efectividad y reducir la dependencia exclusiva de los insecticidas convencionales a base de piretroides u organofosforados.

Esta estrategia se basa en los principios del manejo integrado de plagas, es decir, restringir el uso de pesticidas al mínimo nivel económicamente rentable y utilizar otros mecanismos de control que favorezcan la salud animal sin alterar los ecosistemas ni la salud humana (FAO, 2010).

Los mecanismos de control pueden incluir, entre otras medidas: esparcimiento mecánico de las fecas para favorecer su deshidratación, separación de animales jóvenes de los adultos, tratamiento sólo de animales con infestación severa (umbral económico) y alternar anualmente el uso de grupos químicos. Todos estos manejos están orientados a controlar el parasitismo y reducir la resistencia, por lo que permiten mantener por mayor tiempo la efectividad de los insecticidas sin aumentar la dosis y sin recurrir a productos de última generación, lo que redundará finalmente en una reducción de costos.

De acuerdo a la literatura y sobre la base de la estimación de Velasco *et al.* (2001), la mínima pérdida descrita a causa de la mosca de los cuernos es de 3% del peso corporal. Considerando una aproximación de los pesos por cada categoría y los precios promedio registrados en ferias de ganado, para novillos (principal categoría rematada en ferias y faenada) la pérdida para el productor es de, a lo menos, \$ 10.253/animal (Cuadro 2).

Categoría	Peso vivo (kg)	Precio kg vivo (\$/kg)	Precio por animal (\$)	Pérdida por animal (\$)
Novillos	514	665	341.774	10.253
Vacas	464	426	197.567	5.927
Toros/torunos	640	665	425.170	12.755
Vaquillas	406	567	229.970	6.899
Terberos (as)	290	595	172.544	5.176

Fuente: elaborado a partir de información de ODEPA (remate de ganado en ferias, 2009) ODEPA [en línea].

Esta estimación debe confrontarse con los costos que significa el control de la mosca de los cuernos. Existen en el mercado cerca de 30 productos registrados pertenecientes a distintas familias farmacológicas⁶ que se emplean en diversas dosis, frecuencias y formas de aplicación, por lo cual el rango de variación de costos es bastante amplio.

⁶ Ver: <www.sag.cl> - Registros y autorizaciones - Medicamentos para uso veterinario - Medicamentos autorizados - Sistema en línea de búsqueda de medicamentos veterinarios autorizados por el SAG. [Consulta: diciembre, 2009].

La elección de los productos y el esquema de aplicación dependerán del grado de infestación y nivel de resistencia creados, por lo cual probablemente deberá seleccionarse un esquema terapéutico con rotación de productos de distintas familias. Por otra parte, es una práctica común que ante poblaciones de moscas resistentes los productores utilicen dosificaciones o frecuencias de aplicación de los productos mayores a las recomendadas, aumentando su costo e incrementando aún más la resistencia.

Es importante señalar que dados los niveles de resistencia a piretroides descritos en Chile, así como en diversas partes del mundo, el costo de los tratamientos se incrementará cada vez más, de modo que los productos alternativos como el descrito se harán económicamente más competitivos, ya que por su reciente introducción no presentan resistencia y, por lo tanto, serían altamente efectivos. Sin embargo, en el largo plazo todos los métodos de control generan algún tipo de resistencia, por lo que la mejor estrategia a implementar es el manejo integrado combinando de distintos productos químicos con métodos biológicos o mecánicos, adaptados a las particularidades de cada zona o predio.

3.2 Oportunidades de mercado

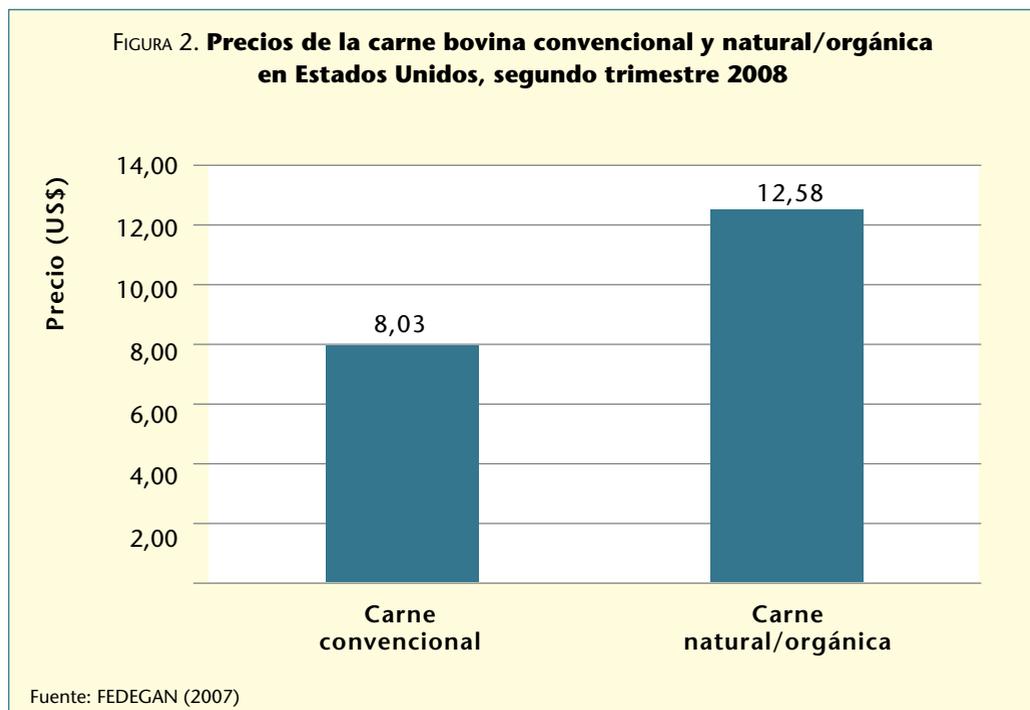
Desde el punto de vista del mercado existe un nicho interesante para la exportación de carne orgánica, particularmente a Estados Unidos, para lo cual no pueden utilizarse antiparasitarios sintéticos en el ganado destinado a beneficio (ATTRA, 2008).

Aunque en la mayoría de los países los productos orgánicos representan menos del 1% del mercado de alimentos, las investigaciones muestran que su demanda está aumentando rápidamente en la mayoría de los grandes mercados. Estimaciones indican que hacia finales del siglo 21 los productos orgánicos podrían representar en algunos países entre el 5 y 10% del mercado total de alimentos; se espera que en un futuro próximo Japón se constituya como el principal consumidor mundial de productos orgánicos (Antonio, 2008).

En los países desarrollados la demanda por este tipo de productos está en constante alza, por lo que se han convertido en un nicho con potencial para muchos productos alimenticios, aunque la oferta no ha crecido a la misma velocidad. Es así por ejemplo, que la carne y leche orgánica son cada vez más populares en el mundo, particularmente en Europa, Canadá y Estados Unidos, sin embargo su escasa producción mundial está dada principalmente por las dificultades técnicas involucradas en la producción, que derivan generalmente en elevados costos.

Los principales países importadores de carne y leche orgánica en el mundo son Estados Unidos, Japón, Canadá, Alemania, Italia, Reino Unido, Francia, Noruega, Suecia, Dinamarca y Australia, que además se rigen por normas nacionales sobre productos orgánicos y su manipulación (Antonio, *op. cit.*).

Cabe destacar que todos estos nichos están creciendo a un ritmo de 19% anual o más, mucho más rápido que el mercado de carne convencional (2,5%), el cual es ligeramente superior al crecimiento de la población mundial. Por otra parte, aunque no se cuenta con cifras oficiales respecto la carne de animales alimentados a pasto, se cree que el crecimiento de los productos orgánicos es aún mayor (Economist Intelligence Unit, 2007). Sus precios también son significativamente mayores a los de la carne convencional (Figura 2), lo cual abre interesantes perspectivas para los productores.



Una de las dificultades técnicas actuales para el desarrollo de la ganadería orgánica, es la inexistencia de controladores orgánicos de parásitos en países como Estados Unidos, lo que ha limitado el desarrollo de este sector derivando en la imposibilidad de autoabastecerse, por lo que un gran sector de la demanda queda sin posibilidades de acceder a estos productos. Por ello se abre una oportunidad para la exportación de insumos orgánicos hacia esos mercados, que ya cuentan con un sector productor consolidado, aunque de tamaño reducido.

En Chile la oferta y demanda de productos orgánicos aún es incipiente. Según Eguillor (2008), durante la temporada 2007/08 se certificaron como orgánicas 30.443 hectáreas y destaca en primer lugar la superficie de recolección silvestre, equivalentes a 16.878 ha. La superficie de praderas orgánicas certificadas es de 115 ha, por lo cual se deduce que la ganadería orgánica se encuentra en una etapa inicial.

Aunque el consumo de carne orgánica aún no está establecido en Chile, existe una tendencia creciente al consumo de alimentos saludables y amigables con el ambiente, lo cual es una oportunidad para introducir en el mercado productos diferenciados en el marco de la Producción Limpia y las Buenas Prácticas Ganaderas.

► 4. Claves de viabilidad

Uno de los factores claves para la implementación efectiva de este producto como parte de los esquemas de manejo sanitario, es la determinación del umbral económico, es decir, del nivel de infestación que justifica la realización de tratamientos. Paralelamente, debe evaluarse objetivamente la efectividad de los tratamientos convencionales para determinar el nivel de resistencia, ya que de ello depende el tipo de productos a utilizar.

Es probable que en la actualidad la relación costo-beneficio de los tratamientos no justifique su aplicación, ya que la resistencia inducida por el mal manejo de insecticidas disminuye la efectividad de sus resultados. Por ello, es fundamental que cada productor evalúe el nivel inicial de infestación y el alcanzado después del tratamiento, lo cual orientará sobre la necesidad de cambiar el tipo de fármaco a utilizar, incluyendo nuevas familias de principios activos como el azadirachtin, extracto descrito en este documento.

Por otra parte, la tendencia mundial a la producción de alimentos con menor uso de insumos químicos y de carácter amigable con el ambiente, será una fuerza que estimulará el uso de productos alternativos identificados y certificados con esta condición. En particular, existe un nicho interesante para la carne orgánica en el mercado de Estados Unidos, para lo cual se requiere la certificación orgánica de los insumos y del proceso productivo.

► 5. Asuntos por resolver

Lo fundamental, que no pudo ser abordado por el proyecto precursor, fue obtener una formulación comercial del producto validado.

Para que el producto evaluado pueda ser comercializado, debe ser registrado por el Servicio Agrícola y Ganadero, SAG.⁷ Para ello, el desarrollador del producto requiere presentar un expediente que contenga la solicitud de registro y todos los antecedentes legales y técnicos señalados en las guías correspondientes.

El proceso de evaluación consiste en verificar los antecedentes legales y las características de calidad, eficacia y seguridad del producto, tanto para la especie de destino como para el ser humano y el ambiente, de acuerdo a las indicaciones y condiciones de uso propuestas. Si el resultado de esta evaluación es favorable, el SAG inscribe el producto bajo un número único nacional, mediante la emisión de una resolución exenta, luego de lo cual se permite su comercio en todo el país.

Durante el proceso de evaluación es posible que sea necesario solicitar antecedentes adicionales al desarrollador, con el fin de complementar la información referente a aspectos legales y de calidad, eficacia o seguridad.

Mediante la Resolución N° 127 del 10 de enero de 2007, se aprobaron los siguientes documentos que norman el registro de este tipo de medicamentos de uso veterinario para comercialización:

- Procedimiento para el Registro de Medicamentos de Uso Veterinario (P-PP-RM-002).
- Instructivo para el Registro de Productos Farmacológicos (I-PP-RM-002).

Se señala que debe establecerse claramente las características del producto, sus propiedades farmacológicas, inmunológicas, toxicológicas, clínicas y terapéuticas, con el fin de determinar sus características de calidad, eficacia y seguridad.

Si bien en el proyecto precursor se realizó un ensayo de eficacia que cumple los estándares establecidos por el SAG en la "Guía para la realización de estudios de campo destinados a medir la eficacia de productos farmacéuticos de uso veterinario en el control de la mosca de los cuernos adulta

⁷ Ver descripción del procedimiento en: <www.sag.cl> - Guía de trámites - Medicamentos de uso veterinario - Autorizaciones para productos y otros - Solicitud de registro de productos farmacéuticos de uso veterinario.



(*Haematobia irritans*)”⁸, aún es necesario repetir dicho ensayo en una zona geográfica diferente. También debe determinarse su potencial toxicidad sobre las aguas y el ambiente.

Otro aspecto que debe desarrollarse es la presentación comercial del producto: fórmula, dosis, envases, rotulación, todos aspectos necesarios para la autorización de su registro.

La importación del principio activo también debe ser autorizada por el SAG, quien verifica si la sustancia fue elaborada por un laboratorio autorizado y si cumple con las exigencias sanitarias correspondientes.

Desde el punto de vista de la propiedad intelectual, el ejecutor del proyecto ha manifestado su interés en patentar la fórmula desarrollada, a fin de obtener derechos exclusivos que permitan utilizar y explotar su invención e impedir que terceros la utilicen sin su consentimiento. Este proceso se realiza mediante una solicitud al Instituto Nacional de Propiedad Industrial (INAPI), quien verifica el grado de novedad, inventiva y aplicación industrial que debe presentar la innovación para ser patentada.

Finalmente, el valor comercial que tendrá el producto es un factor clave que debe ser resuelto por el ejecutor, ya que de su relación costo-efectividad depende su éxito en el mercado farmacéutico veterinario.

⁸ <www.sag.cl> - Registros y autorizaciones - Medicamentos para uso veterinario - Publicaciones y documentos – Guías (descargar).

SECCIÓN 2

El proyecto precursor

► 1. El entorno económico y social

El proyecto precursor se desarrolló en cuatro regiones del país:

- Región Metropolitana: la Corporación CET tiene sus oficinas centrales y un centro demostrativo;
- Región de Valparaíso: se recolectaron ejemplares de moscas;
- Región del Maule: se encuentra la empresa Agrícola Palomar, cercana a Parral, donde se realizaron los ensayos de campo en el ganado de engorda;
- Región del Biobío: se encuentra el Centro de Demostración y Capacitación de la Corporación CET, donde se realizaron mediciones y ensayos de laboratorio.

Región del Maule

El Censo del año 2002 registró 908.097 habitantes, de los cuales un 33,6% corresponde a población rural, la más alta del país.

El Producto Interno Bruto (PIB) regional para el año 2006 fue de \$ 2.179.263 millones, cuyo 17,1% correspondió a la actividad agropecuaria y silvícola (Banco Central, 2009).

Su conformación física y clima mediterráneo han determinado que la Región del Maule base su sistema económico en actividades silvoagropecuarias, como los cultivos de remolacha, arroz,



árboles frutales, plantaciones forestales y productos de la madera; destacan los cultivos vinícolas que representan el 40% de la superficie plantada con parronales en el país. También sobresale la producción de energía eléctrica, con siete plantas que generan 4.952 GW, que posicionan a la Región con el mayor poder generador nacional.

Las exportaciones regionales en el año 2007 totalizaron US\$ 1.359 millones, provenientes de 628 empresas y 521 productos (Gobierno Regional Maule, 2009).

De acuerdo al Censo Agropecuario y Forestal de 2007 (INE [en línea]), la Región del Maule presenta una masa bovina total de 258.228 cabezas, correspondientes al 6,9% de las existencias nacionales. La mayor cantidad de animales y propietarios se concentra en la provincia de Linares, con el 40% de la existencia regional. El 48% de los bovinos de la Región pertenece a pequeños y medianos productores, es decir, a quienes manejan explotaciones con superficies menores a 100 hectáreas. La ganadería bovina se enfoca principalmente en la producción de carne; se estima que el 84,3% de los predios realiza engorda de ganado, mientras que sólo el 7,8% de los vientres adultos pertenece a razas productoras de leche (INE, 2005).

Región del Biobío

Cuenta con una población aproximada de 2 millones de habitantes y es la segunda región más poblada del país.

La economía de la Región se sustenta en el sector exportador forestal, pesquero e industrial, desde donde se desprenden sus principales fortalezas: capacidad exportadora, eficiente plataforma de servicios, dinamismo industrial, capacidad de desarrollo de los sectores forestal y pesquero, capacidad de generación de energía hidroeléctrica, potencial portuario y presencia de universidades, factores que la convierten en un importante centro cultural y económico (ProChile, 2009).

El Producto Interno Bruto (PIB) regional para el año 2006 fue de \$ 5.649.004 millones, que representa el 9,5% del producto nacional. El 6,4% del PIB regional corresponde a la actividad agropecuaria y silvícola. Las exportaciones regionales para el año 2005 fueron de MM US\$ 3.865.351, provenientes principalmente de productos forestales elaborados (Banco Central, 2009).

Desde el punto de vista pecuario, la Región posee 449.398 cabezas bovinas, equivalentes al 12,1% del total nacional, distribuidas en 23.972 informantes. El 47% de las existencias se concentra en la provincia de Biobío, con un promedio de 18,8 cabezas/productor. Esta Región se orienta a la producción de leche, ya que el 60% de sus vientres adultos corresponden a razas especializadas en producción láctea, mientras que sólo un 32% de los predios bovinos realizan engorda de ganado.



► 2. El proyecto

2.1 Características generales

El desarrollo y validación de esta investigación surge de la ejecución de un proyecto financiado por la Fundación para la Innovación Agraria, FIA, ejecutado entre los años 2005 y 2009. Sus actividades se desarrollaron principalmente en las regiones del Maule y el Biobío.

El proyecto “Desarrollo de un sistema de control de la mosca de los cuernos (*Haematobia irritans* L.) mediante la utilización del extracto del árbol *Azadirachta indica* (neem) en rebaños productores de carne bovina”, se desarrolló mediante un trabajo conjunto entre el Centro de Educación y Tecnología (CET) y un productor de bovinos de carne de la Región del Maule (Agrícola Palomar), con la colaboración de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de Chile y la empresa india The Dharamsi Morarji Chemical Co. Ltd.

El CET es una corporación sin fines de lucro, que desde 1990 ha desarrollado programas de desarrollo sustentable con comunidades campesinas en diversas regiones del país: Metropolitana, del Biobío y de Los Lagos. Su misión institucional es la formación de agentes de desarrollo rural desde una perspectiva humana y agroecológica. En el ámbito rural y de la producción agrícola, las propuestas agroecológicas y el diseño de tecnologías apropiadas del CET representan un significativo aporte a la sustentabilidad del desarrollo del sector. La Corporación aportó a este proyecto con personal especializado e infraestructura para la realización de ensayos *in vitro* e *in vivo*.

La empresa Agrícola Palomar, cercana a Parral en la Región del Maule, puso a disposición del proyecto su infraestructura productiva y un grupo de bovinos de carne para ensayos *in vivo* de aplicación del producto y medición de su efectividad sobre la carga parasitaria.

La Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de Chile aportó al proyecto el desarrollo de un método para determinar la presencia en músculo de residuos del extracto azadirachtin, en los bovinos sometidos al tratamiento. Esta investigación se materializó mediante una memoria para optar al título profesional de Químico Farmacéutico realizada por un estudiante de dicha Facultad. Se realizaron también distintas formulaciones de bolos intrarruminales para los ensayos de efectividad *in vivo*.

La empresa india The Dharamsi Morarji Chemical⁹ cuenta con más de 85 años de trayectoria en el mercado de los productos químicos para diversos procesos industriales, incluyendo productos farmacéuticos y biofertilizantes para la producción agrícola orgánica. La empresa aportó al proyecto con el extracto de azadirachtin proveniente del árbol neem para evaluar su efectividad en el control de la mosca de los cuernos.

El propósito general de esta iniciativa fue desarrollar un método de control del parásito hematófago *Haematobia irritans* (mosca de los cuernos), mediante un extracto de origen botánico, de manera de reducir el uso de insumos químicos en el manejo sanitario preventivo del ganado bovino. De esta manera, se busca cumplir con estándares de bienestar animal y cuidado del medio ambiente, posibilitando el acceso al mercado de las carnes orgánicas.

Para la realización de esta investigación se desarrollaron distintos procedimientos enmarcados en cuatro líneas de trabajo principales:

⁹ <www.dmcc.com> [consulta: diciembre, 2009].

- Desarrollo de diversas formulaciones farmacológicas para la administración del principio activo:
 - bloques minerales para administración oral con adición de azadirachtin en distintas concentraciones;
 - bolos intrarruminales con adición de azadirachtin en distintas concentraciones.
- Análisis *in vitro*:
 - crianza artificial de *Haematobia irritans* para obtener distintos estadios de desarrollo del insecto, para ser expuestos al extracto botánico;
 - determinación de las dosis letales sobre estados juveniles en muestras de fecas inoculadas con huevos del díptero;
 - evaluación del efecto de las sustancias químicas digestivas sobre el principio activo azadirachtin;
 - evaluación del efecto de las sustancias químicas digestivas sobre la estabilidad de los bolos ruminales;
 - evaluación del efecto del principio activo en bloques minerales mezclados con fecas inoculadas con huevos del díptero.
- Análisis *in vivo*
 - determinación de las dosis letales sobre estados juveniles en fecas obtenidas de animales inoculados con el principio activo en suspensión y sembradas con huevos del díptero;
 - evaluación de la emergencia de la mosca en fecas de bovinos inoculados con el principio activo en suspensión;
 - evaluación del efecto de la digestión sobre la estabilidad de los bolos administrados por fístula ruminal;
 - evaluación de la emergencia de la mosca en fecas y por conteo de adultos posados sobre animales tratados con el principio activo en bloques minerales;
 - evaluación de la emergencia de la mosca en fecas y por conteo de adultos posados sobre animales inoculados con el principio activo en bolos ruminales;
 - evaluación del efecto del principio activo en fecas inoculadas con huevos del díptero provenientes de animales tratados con el principio activo en bloques minerales;
 - evaluación del efecto del principio activo en fecas inoculadas con huevos del díptero provenientes de animales tratados con el principio activo en bolos ruminales.
- Desarrollo de un método para la detección de residuos de azadirachtin en la carne de los animales tratados.

La investigación realizada aporta información técnica fundamental para el desarrollo del producto a escala comercial, el cual podría abastecer tanto el mercado local como el mercado externo, enfocándose principalmente en el mercado de la producción de carne orgánica, natural u otra denominación donde se valore el uso de insumos naturales, no contaminantes e inocuos para la salud humana.



Foto 7. Animales en estudio de campo

2.2 Validación del proceso

La ejecución del proyecto requirió realizar una serie de protocolos y ensayos que debieron ajustarse según los resultados. En primer lugar, se estableció una crianza de *Haematobia irritans* de modo de obtener los diferentes estados de desarrollo del insecto, lo cual permitió evaluar en laboratorio el efecto de diferentes dosis de azadirachtin y conocer la sensibilidad de los distintos estadios a las concentraciones del principio activo. Esta etapa incluyó la captura de ejemplares adultos, alimentación artificial, recolección e incubación de huevos (fotos 8 y 9).



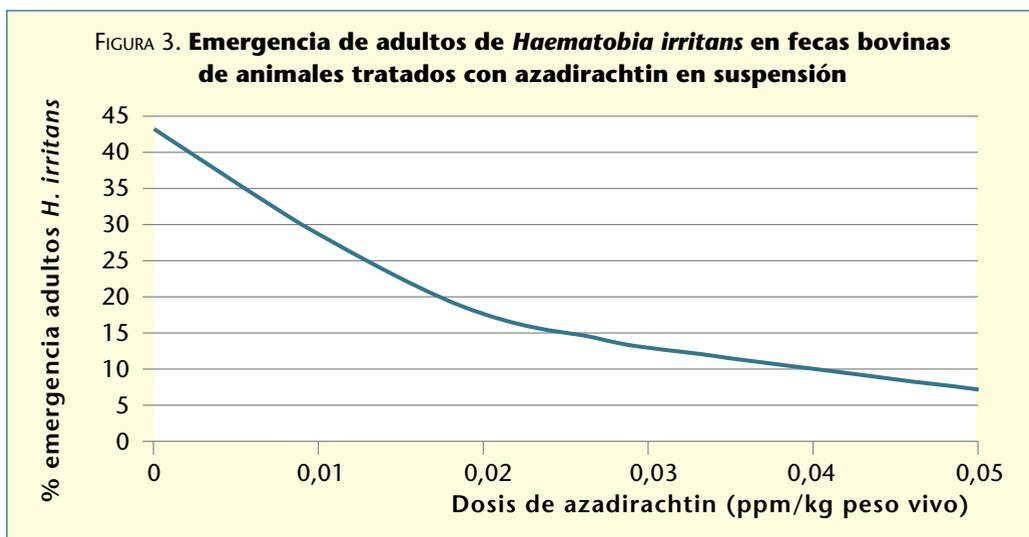
Foto 8. Jaula para crianza del parásito



Foto 9. Cámara para incubación de huevos

Posteriormente se evaluó la factibilidad y efectividad del uso de distintas concentraciones de azadirachtin, en forma de suspensión, en bloques minerales para consumo voluntario y en bolos intrarruminales.

El producto en suspensión se utilizó para determinar *in vivo* la dosis letal sobre los estados juveniles de la mosca. Una vez realizado el tratamiento, se midió la eclosión de huevos desde las fecas colectadas y por siembra de huevos sobre ella. De esta manera, se determinó la DL50 y DL90¹⁰ en 0,0632 y 0,03637 mg/kg de peso vivo, respectivamente. Los resultados de acuerdo a las distintas dosis aplicadas se observan en la Figura 3.



¹⁰ DL50 y DL90 representan la dosis necesaria de un tóxico para causar la muerte del 50% y 90% de una población, respectivamente.

Los resultados indican que el extracto utilizado durante 4 días, con una concentración de 0,05 ppm/kg de peso vivo, permite el control de la mosca de los cuernos en un 7%, es decir, un 93% de los huevos expuestos al tratamiento es controlado y se evita la emergencia del insecto adulto.

Otra estrategia de formulación fue la elaboración de bloques minerales adicionados con el extracto en proporciones variables. Aunque se observaron diferencias significativas en la reducción de la emergencia de moscas en fecas a favor de los animales que recibieron mayor dosis del producto, los resultados no fueron del todo consistentes ya que la distribución de la ingesta a través del tiempo fue irregular a causa de una estructura inadecuada de los bloques, lo que determinó una menor resistencia, mayor competencia y mayor ingesta por parte de los animales más dominantes en desmedro de los otros.

Una tercera forma de aplicación fue a través de la elaboración de bolos intrarruminales. Para ello, la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de Chile diseñó diversas matrices farmacológicas basadas en compuestos grasos de alto punto de fusión, denominados Gelucires®. Estos compuestos son una familia de excipientes basados en glicéridos, los cuales están constituidos por una mezcla de glicéridos y ésteres de polietilenglicol que les dan propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas. Los Gelucires se utilizan para hacer matrices semi-sólidas para cápsulas gelatinosas rígidas, utilizadas en fármacos semisólidos o líquidos, aunque también se usan en granulados o tabletas, con el fin de producir una liberación sostenida del principio activo (San Martín, 2006). A este elemento se le adiciona hierro, ya que dado su alto peso molecular se obtienen densidades mínimas de 1,6 g/cc, a fin de asegurar la permanencia de los productos en el rumen, a pesar de los movimientos propios de la función digestiva. Se utilizó también Compritol®, que corresponde a behenato de glicerol y se utiliza en la industria farmacéutica como lubricante inerte y matriz lipídica para tabletas de liberación controlada.

Las proporciones de cada elemento se ajustaron por ensayo y error a fin de determinar la tasa de digestión intrarruminal y, por lo tanto, la capacidad de permanencia en el retículo-rumen y la liberación gradual del principio activo.

Para evaluar la degradación de las cápsulas, éstas se introdujeron en la cámara ruminal mediante una fístula realizada en la pared abdominal; periódicamente los bolos se pesaban y retiraban para registrar la disminución del peso producto de la acción del líquido ruminal (fotos 10 y 11).

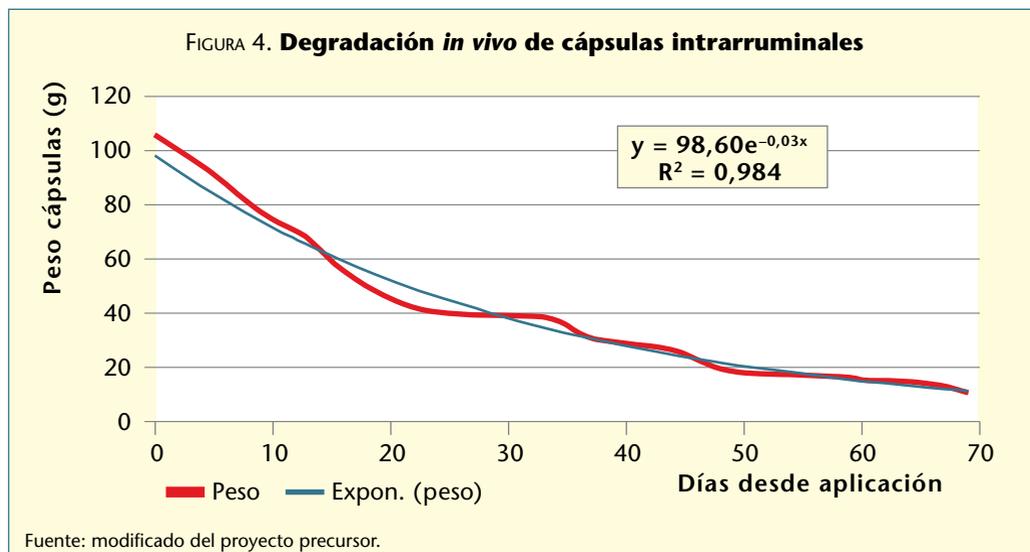


Foto 10. Extracción de cápsulas intrarruminales



Foto 11. Cápsulas extraídas del rumen

Los bolos desarrollados inicialmente pesaban en promedio 19 a 20 gramos; posteriormente fueron modificados en su tamaño y composición hasta llegar a un peso promedio de 103,73 g y a una duración en retículo-rumen de 70 días. La curva de degradación en rumen se observa en la Figura 4.



Para medir la efectividad *in vivo* de la formulación, se realizó un ensayo con aplicación de bolos intrarruminales con 0,04 mg de azadirachtin por kg de peso vivo, definida como la dosis más eficiente para reducir la población de moscas a valores tolerables para el ganado. Este ensayo se realizó respetando el protocolo que exige el SAG en la “Guía para la realización de estudios de campo destinados a medir la eficacia de productos farmacéuticos de uso veterinario en el control de la mosca de los cuernos adulta (*Haematobia irritans*)” (ver pie de página 19). Cabe señalar que la aplicación de este procedimiento es obligatorio para el registro en Chile de productos farmacéuticos para el control de este parásito; en él se señala que debe utilizarse un grupo control y un grupo de tratamiento de, al menos, 15 animales, separados por 500 metros para prevenir infestación cruzada, ambos grupos deben tener cargas parasitarias iniciales similares, entre otros aspectos.

En el Cuadro 3 se observa que los animales tratados con el producto desarrollaron niveles significativamente inferiores de la mosca en fecas, equivalentes a un 69% menos de individuos adultos al cabo de 47 días desde la aplicación.

CUADRO 3. Porcentaje de emergencia de *Haematobia irritans* en fecas de bovinos tratados con bolos intrarruminales con 0,04 mg de azadirachtin/kg de peso vivo

Tratamiento (%)	FECHA					
	24/11/08	4/12/08	11/12/08	18/12/08	03/01/09	10/01/09
Tratados	1,9 ± 1,2	2,10 ± 1,0 a	2,4 ± 0,1 a	3,6 ± 3,5 a	4,0 ± 1,9 a	6,8 ± 2,5 a
Testigos	1,9 ± 1,2	13,3 ± 2,3 b	12,2 ± 2,9 b	10,3 ± 3,9 b	18,6 ± 3,3 b	21,9 ± 4,9 b

Duncan test, $p < 0,05$; letras distintas indican diferencia significativa.

Fuente: modificado del proyecto precursor.

Un resultado similar se obtuvo al evaluar visualmente el número de moscas posadas sobre los lomos de los animales: se observó una reducción significativa del 66,8% de la presencia del parásito sobre la zona dorso escapular de los bovinos tratados, en comparación con el grupo control que no recibió tratamiento (Cuadro 4).

CUADRO 4. Cuento de adultos en zona dorso escapular de *Haematobia irritans* en fecas de bovinos tratados con bolos intrarruminales con 0,04 mg de azadirachtin/kg de peso vivo

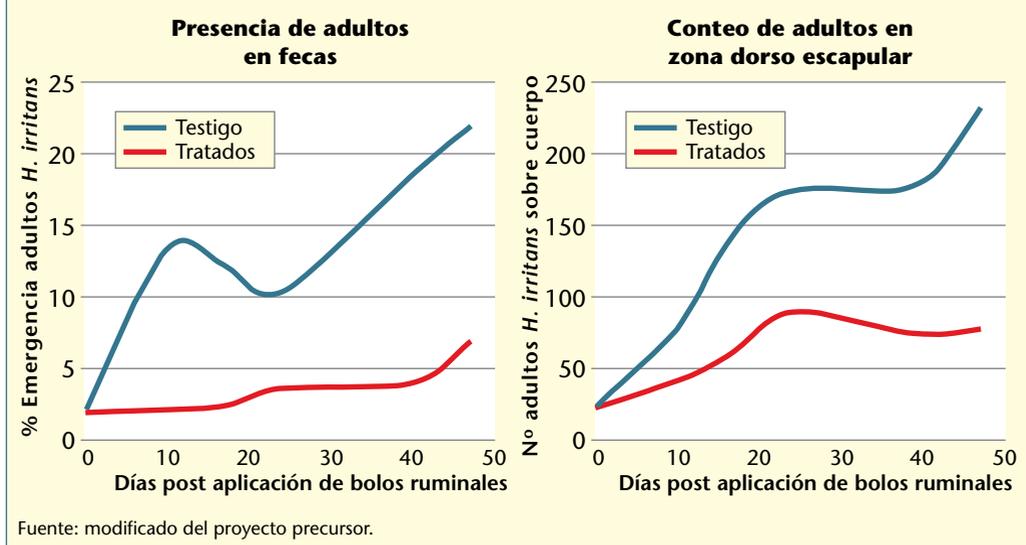
Tratamiento (%)	FECHA					
	24/11/08	4/12/08	11/12/08	18/12/08	03/01/09	10/01/09
Tratados	22,6 ± 12,3 a	40,7 ± 20,4 a	60,7 ± 26,3 a	89,0 ± 33,8 a	74,0 ± 17,1 a	76,6 ± 42,7 a
Testigos	22,6 ± 12,3 a	77,9 ± 33,2 b	144 ± 76,7 b	174,0 ± 74,1 b	177,5 ± 40,0 b	230,9 ± 71,9 b
Variación	0,0	47,7	57,9	48,9	58,3	66,8

Duncan test, $p < 0,05$; letras distintas indican diferencia significativa.

Fuente: modificado del proyecto precursor.

En la Figura 5 se observa la curva de control de la mosca de los cuernos en fecas y sobre los animales. En ambas mediciones se constata una considerable reducción de la carga parasitaria en comparación con el testigo, aunque la cantidad total de moscas se incrementa producto de la dinámica estacional del insecto, que alcanza su mayor desarrollo en los meses de diciembre y enero con las altas temperaturas.

FIGURA 5. Efectividad de bolos intrarruminales con 0,04 mg de azadirachtin/kg de peso vivo en el control de *Haematobia irritans*



Fuente: modificado del proyecto precursor.

En el Cuadro 5 se observa el cambio de peso de los animales tratados con azadirachtin en bolos intrarruminales y testigos sin tratar. El resultado muestra que los animales tratados incrementaron su peso promedio en 15,62 kg, mientras que aquellos sin tratar lo disminuyeron en 12,5. La reducción de peso puede atribuirse a que todos los animales eran vacas en lactancia, por lo que están expuestas a un fuerte drenaje de nutrientes. El efecto del extracto sobre el aumento de peso podría también potenciarse por el control sobre los nemátodos gastrointestinales, ya que existen antecedentes que indican que azadirachtin inhibe la emergencia de larvas (NRC, 1992).

CUADRO 5. Cambio de peso en bovinos tratados con azadirachtin en bolos intrarruminales de 103 g

Tratamiento	PESO (kg)		
	Inicial	Final	Variación
Testigos	495,43 ± 74,42	482,93 ± 68,81	-12,50
Tratados	602,23 ± 44,86	617,85 ± 49,72	15,62

Paralelamente al desarrollo del producto, se realizó una investigación para conocer el potencial efecto contaminante de azadirachtin en la carne, a través de una tesis de grado en la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de Chile.

El objetivo de este estudio fue desarrollar una metodología de extracción de azadirachtin desde el tejido muscular de vacuno e implementar una metodología analítica vía cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) para cuantificar el principio activo. Para ello se analizaron dos muestras de carne de 5 g, provenientes de un ternero de 200 kg que recibió una formulación de liberación controlada de extracto de neem, con 20,4 mg diarios por 14 días. Esta dosis es superior a la dosis de uso normal (8 g/200 kg de peso vivo).

Como resultado del estudio se implementó una técnica de extracción que permitió recuperar alrededor del 100% de azadirachtin desde músculo del vacuno. Los resultados del análisis de las muestras no manifestaron alguna señal cromatográfica coincidente con los tiempos de retención de azadirachtin. En consecuencia, se validó la técnica implementada y se corroboró que el principio activo utilizado no genera residuos detectables en el músculo.



Foto 12. A la derecha, pupas normales; a la izquierda, individuos afectados por azadirachtin

2.3 Situación actual

El ejecutor del proyecto precursor actualmente se encuentra gestionando el proceso de importación del principio activo y la tecnología para desarrollar de manera industrial las cápsulas intraruminales. Se realizará la formulación definitiva del producto comercial, así como las gestiones tendientes a obtener el registro de producto farmacéutico de uso veterinario otorgado por el SAG¹¹ y su respectiva patente.

Las compañías interesadas en articularse con el proyecto en un escenario futuro de escalamiento comercial de esta tecnología, son empresas relacionadas con la producción ganadera en distintos ámbitos de esta actividad, como Ecofos Ltda., Santa Isabel de Cato S.A. y Agrícola Catemu Ltda. La primera es comercializadora de minerales e insumos para la ganadería y las dos últimas productoras de ganado de carne, con relaciones en el mercado norteamericano e interesadas en desarrollar un proyecto de exportación a ese mercado.

¹¹ Más información en: <www.sag.cl> - Registros y autorizaciones - Medicamentos para uso veterinario - Registro de productos farmacéuticos de uso veterinario.

SECCIÓN 3

El valor del proyecto

La herramienta tecnológica desarrollada en el proyecto precursor brindó una alternativa eficaz para el control de la mosca de los cuernos, ectoparásito de gran importancia económica para el ganado bovino. En la actualidad no existe un producto en el mercado con estas características, y el control se realiza habitualmente mediante insecticidas convencionales.

La incorporación de esta tecnología como herramienta de control se inserta en el manejo ambiental sustentable requerido en cualquier producción pecuaria orgánica, sin perjuicio que pueda ser incorporada a cualquier sistema de producción de carnes, ya que la mosca de los cuernos afecta en forma importante la productividad y rentabilidad de los sistemas productivos.

El producto descrito puede destinarse no sólo a ganaderos nacionales interesados en producción orgánica, ganadería ecológica o producción limpia, sino también, podría exportarse a países con mayor desarrollo de este sector y que permanentemente se enfrentan a la escasez de insumos orgánicos.



Por otro lado, los antiparasitarios químicos más utilizados han creado resistencia en las poblaciones de parásitos, por lo que la posibilidad de utilizar productos de diferente composición química y forma de acción aparece como la mejor estrategia para controlar eficazmente los principales parásitos del ganado bovino.

Este proyecto también abre una importante línea de generación de dispositivos o matrices farmacológicas de uso intrarruminal, de entrega lenta, utilizables en producción de rumiantes, y aplicables a la administración de antibióticos, vitaminas, minerales y controladores biológicos, entre otros elementos, con una gran proyección tecnológica y económica.

Anexos

Anexo 1. Literatura consultada

Anexo 2 Documentación disponible y contactos

ANEXO 1. Literatura consultada

- Antonio, S. 2008. Carne y leche orgánica nuevos nichos de mercado. Imagen Agropecuaria, N° 1. [En línea] <http://www.imagenagropecuaria.com/articulos.php?id_sec=24&id_art=424> [Consulta: diciembre, 2009].
- ATTRA. 2008. Organic Standards for Livestock Production: Highlights of the USDA's National Organic Program Regulations. [En línea] <http://attra.ncat.org/calendar/new_pubs.php/2008/11/15/organic_standards_for_livestock_product> [Consulta: diciembre, 2009].
- Banco Central de Chile. 2009. Bases de Datos Estadísticos. [En línea] <www.bcentral.cl> [Consulta: diciembre, 2009].
- Barros, A., Guglielmo, A. y Martins, J. 2002. Mosca de los Cuernos (*Haematobia irritans*): Control Sustentable y Resistencia a los Insecticidas. 10 pp. Documento RedEctopar. [En línea] <<http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Archivos/Publicaciones/Moscuernredectopar.pdf>> [Consulta: diciembre, 2009].
- Byford, R.L., Craig, M.E. & Crosby, B.L. 1992. A review of ectoparasites and their effect on cattle production. J. Anim. Sci., 70(2):597-602.
- DeRouen, S., Foil, L., MacKay, A., Franke, D., Sanson, D. & Wyatt, W. 2003. Journal of Economic Entomology, 96(5):1612-1616.
- DeRouen, S., Foil, L. Knox, J. & Turpin, J. 1995. Horn fly (Diptera: Muscidae) control and weight gains of yearling beef cattle. Journal of Economic Entomology, 88:666-668.
- De Sousa Nogueira, M. y Palmério, M. 2001. Practice Oriented Results on Use and Production of Plant Extracts and Pheromones in Integrated and Biological Pest Control. Abstracts of the 1st Workshop "Neem and Pheromones". University of Uberaba, Brazil, March 29–30.
- Eguillor, P. 2008. Agricultura orgánica: Temporada 2007/08. 13 pp. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). [En línea] <<http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/2140.pdf>> [Consulta: diciembre, 2009].
- EPA. 2008. Azadirachtin Summary Document Registration Review: Inicial Docket September 2008. Environmental Protection Agency (EPA), United States of America.
- FAO. 2010. Integrated Pest Management. [En línea] <<http://www.fao.org/ag/agp/agpp/ipm>> [Consulta: diciembre, 2009].
- FEDEGAN. 2007. Coyuntura Ganadera Internacional. Estados Unidos: las ventas de carne orgánica aumentarán. 2 pp. Federación Colombiana de Ganaderos. [En línea] <<http://portal.fedegan.org.co/Boletin/Boletin61/pdf/Coyuntura.pdf>> [Consulta: diciembre, 2009].
- Gobierno Regional del Maule. 2009. [En línea] <www.gobiernoregionaldelmaule.cl> [Consulta: diciembre, 2009].
- Guglielmo, A., Anziani, O., Mangold, A. y Volpogni, M. 1998. Perjuicios económicos provocados por la "mosca de los cuernos" (*Haematobia irritans*). INTA EEA Rafaela. Información Técnica N°146.
- Harvey, T. L. & Brethour, J. R. 1979. Effect of horn flies on weight gains of beef cattle. Journal of Economic Entomology, 72: 516-8.
- Haufe, W.O. 1982. Growth of range cattle protected from horn flies (*Haematobia irritans*) on behavior of cattle. Journal of Animal Science, 62: 567-573.
- INE. [En línea]. VI Censo Agropecuario y Forestal 1997. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). [En línea] <http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_agropecuarias/xls/2005/censoagropecuario.xls> [Consulta: diciembre, 2009].
- INE. 2005. Estudio de la Ganadería Bovina Regiones del Maule, del Biobío, de La Araucanía y de Los Lagos. Instituto Nacional de Estadísticas (INE).
- INIA. 1999. Revista Tierra Adentro N° 29. Noviembre-Diciembre. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

- Jonsson, N.N. & Mayer, D.G. 1999. Estimation of the effects of buffalo fly (*Haematobia irritans exigua*) on the milk production of dairy cattle based on a meta-analysis of literature data. *Medical and Veterinary Entomology*, 13: 372-376.
- Kunz, S. E., Miller, J.A., Sims, P.L. & Meyerhoeffer, D.C. 1984. Economics of controlling horn flies (Diptera: Muscidae) in range cattle management. *Journal of Economic Entomology*, 77: 657-660.
- López, J. y Romano, A. 1993. Influencia de una población de *Haematobia irritans* (mosca de los cuernos) sobre la ganancia de peso de un lote de novillos Hereford. *Vet. Arg.*, 10:98-102.
- NRC, 1992. *Neem: A Tree for Solving Global Problems*. Report of an Ad Hoc Panel of the Board of Science and Technology for International Development, National Research Council. 152 pp.
- ODEPA. [En línea]. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). <<http://www.odepa.gov.cl>> [Consulta: diciembre, 2009].
- Oyarzún, M. 2008. Semioquímicos que median la relación parásito-hospedero entre la mosca de los cuernos (*Haematobia irritans*) y el ganado bovino. Tesis para optar al grado académico de Doctor en Ciencias de Recursos Naturales. Universidad de la Frontera.
- ProChile. 2009. Región del Biobío. [En línea] <<http://www.prochile.cl/biobio/>> [Consulta: diciembre, 2009].
- Romero, M. 2008. Manejo ecológico de las moscas del cuerno y del establo en regiones tropicales. *LEISA Revista de Agroecología* 23-4.
- San Martín, A. 2006. Diseño de forma farmacéutica para uso en rumiantes. Memoria para optar al Título de Químico Farmacéutico de la Universidad de Chile.
- Sanson, D., De Rosa, A., Oremus, G. y Foil, L. 2003. Effect of horn fly and internal parasite control on growth of beef heifers. *Veterinary Parasitology*, 117:291:300 .
- Schreiber, E., Campbell, J., Kunz, S., Clanton, D. & Hudson, D. 1987. Effects of horn fly (Diptera: Muscidae) control on cows and gastrointestinal worm (Nematode: Trichostrongylidae) treatment for calves on cow and calf weight gains. *Journal of Economic Entomology*, 80:451-454.
- Schwabe, A. 2002. Comparación de las aplicaciones tradicional y precoz de insecticidas para controlar *Haematobia irritans* en el sur de Chile. Memoria para optar al Título de Médico Veterinario. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile.
- Stelman, C., Brown, A., Gbur, E. & Tolley, G. 1991. Interactive response of the horn fly (Diptera: Muscidae) and selected breeds of beef cattle. *Journal of Economic Entomology*, 84:1275-1282.
- The Economist Intelligence Unit. 2007. Exportaciones saludables: El Mercado de Estados Unidos para carne natural y orgánica. 11 pp. Uruguay. [En línea] <<http://www.inac.gub.uy/innova-portal/file/1833/1/economist.pdf>> [Consulta: diciembre, 2009].
- Torres, C. 2004. Evaluación de la eficacia de dos mosquicidas contra *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) en bovinos de la Provincia de Ñuble, VIII Región de Chile. Memoria para optar al Título de Médico Veterinario. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Concepción.
- Van Oppen, E. 2001. Pérdidas por la Mosca de los Cuernos. *Cría Vacunos-Agromail-Editores*- 103-28.
- Vanzini, G., Tourni, R. & Llovet, L. 1997. Daños ocasionados por ectoparásitos en la industria del cuero. *Therios*, 26:84-88.
- Velasco, R., González, J. Morales, G. y Ortega, E. 2001. Daño económico y costos de control en bovinos: mosca de los cuernos. *Informativo Agropecuario. Bioleche-INIA Quilmapu*, 14: 4-7.
- Zaramati, M. 2002. Determinación de la efectividad de Cipermetrina 6% (Pour on), Cipermetrina 15% (baño de aspersión), Cipermetrina 5% / Ethion 15% (Pour on) y Cipermetrina 10%/ Ethion 40% (baño de aspersión) sobre *Haematobia irritans* en bovinos. Memoria para optar al Título de Médico Veterinario. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile.

ANEXO 2. Documentación disponible y contactos

La publicación “Resultados y Lecciones en Control Biológico de la Mosca de los Cuernos en Bovinos con Extracto de Neem”, así como información adicional sobre los proyectos precursores y los contactos con los productores y profesionales participantes en éstos, se encuentran disponibles en el sitio de FIA en Internet www.fia.gob.cl

La documentación de los proyectos precursores a texto completo (propuesta, informes técnicos y actividades de difusión, entre otras), puede consultarse en los centros de documentación de FIA, en las siguientes direcciones:

Santiago

Loreley 1582, La Reina, Santiago.

Fono (2) 431 30 96

Talca

6 Norte 770, Talca.

Fono-fax (71) 218 408

Temuco

Miraflores 899, oficina 501, Temuco.

Fono-fax (45) 743 348