

Desarrollo de un sistema de información geográfica para la evaluación del
riesgo de ocurrencia de fasciolosis en el ganado patagónico.

*Trabajo final presentado para optar al título de Especialista de la Universidad de Buenos
Aires en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicados al estudio de los
recursos naturales y la producción agropecuaria*

Fernando Raffo

Veterinario - Universidad de Buenos Aires - Año de egreso 1998

Lugar de trabajo: EEA INTA Bariloche



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires



COMITÉ CONSEJERO

**Director de tesis
Fermín Olaechea
Médico Veterinario (UNLP)
Ph.D Especialidad en Parasitología
(Royal Veterinary and Agricultural University,
Copenhagen, DINAMARCA)**

JURADO DE TESIS

**Director de tesis
Fermín Olaechea
Médico Veterinario (UNLP)
Ph.D Especialidad en Parasitología
(Royal Veterinary and Agricultural University,
Copenhagen, DINAMARCA)**

**JURADO
Lucila Prepelitchi
Licenciada en Biología (UBA)
Dra. Especialidad en Parasitología (UBA)**

**JURADO
José María Paruelo
Ing. Agrónomo (UBA)
Ph.D Rangeland Ecosystem Sciences
(Colorado State University, USA)**

Fecha de defensa de la tesis: 15 de Abril de 2013

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria que estimuló y financió este proceso de capacitación,

A mis compañeros de los Laboratorios de Teledetección y SIG, y de Parasitología Animal de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Bariloche, por el aporte de información y colaboración permanente,

Al Dr. Fermín Olaechea por darme la posibilidad de integrar su grupo de trabajo y compartir generosamente su experiencia,

Al Dr. Pablo Mercuri, director del Instituto de Clima y Agua del CIRN – INTA Castelar, por permitirme trabajar en el Instituto,

Al Dr. Carlos Di Bella, coordinador del Área de Agrometeorología del Instituto de Clima y Agua del CIRN – INTA Castelar, por su paciencia y por brindarme un lugar de trabajo,

A todo el personal del Área de Agrometeorología del Instituto de Clima y Agua del CIRN – INTA Castelar por aceptarme y especialmente a la Lic. Julieta Straschnoy y Patricio Oricchio por su colaboración,

A mis compañeros de especialización por todos los buenos momentos compartidos,

A todos muchas gracias.

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Índice general	Página
Resumen	vi
Abstract	viii
1. Introducción	1
2. Materiales y Métodos	9
2.1 Área de estudio	9
2.2 Prevalencia de fasciolosis	10
2.3 Datos de sensores remotos	11
2.4 Información espacial utilizada	11
2.5 Secuencia de trabajo y conformación del SIG	12
2.6 Metodología estadística	13
3. Resultados	15
4. Discusión	21
5. Conclusiones generales	25
6. Bibliografía	27

Índice de tablas

Tabla 1: Determinación de clases de IVN en mallines del área de estudio.	15
Tabla 2: Rangos equivalentes de IVN generadas a partir del máximo y mínimo observado.	16
Tabla 3: Correlación y significancia estadística entre la prevalencia de fasciolosis y el porcentaje de mallín del establecimiento y de las clases.	16
Tabla 4: Porcentaje total y proporción de cada clase de mallín en establecimientos ganaderos con prevalencia de fasciolosis conocida.	17

Índice de figuras

Figura 1: Prevalencia de fasciolosis por provincia y zonificación de la faena bovina.	3
Figura 2: Ciclo biológico de <i>Fasciola hepatica</i> .	6
Figura 3: Áreas ecológicas de Río Negro y localización aproximada del área de estudio.	10
Figura 4: Área de estudio, establecimientos ganaderos y promedio anual de IVN, compuesto 2000-2009.	12
Figura 5: Secuencia de la metodología de trabajo empleada.	14
Figura 6: Diagrama de dispersión, validación cruzada.	18
Figura 7: Mapa de riesgo de fasciolosis bovina y ovina.	19
Figura 8: Comparación entre la zonificación de riesgo a fasciolosis y la caracterización de mallines del sudoeste de Río Negro.	20
Figura 9: Mapa de riesgo de fasciolosis a nivel predial.	21

Índice abreviaturas

Índice de Vegetación Normalizado (IVN)

Clases IVN (C I; C II; C III)

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

Prevalencia de fasciolosis (P FH)

Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Agroalimentaria (SENASA)

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Desarrollo de un sistema de información geográfica para la evaluación del riesgo de ocurrencia de fasciolosis en el ganado patagónico.

Resumen

El presente trabajo plantea la utilización del Índice de Vegetación Normalizado (IVN) para identificar diferentes zonas de riesgo a fasciolosis ovina y bovina. Para tal fin se empleó el producto de IVN compuesto cada 16 días de 250 metros de resolución de la serie MODIS, con el que se generó el IVN promedio para el período 2000 – 2009. El área de estudio situada en el oeste de la provincia de Río Negro, tiene una superficie total de 2.700.000 hectáreas. A partir de los resultados de los análisis coprológicos, realizados durante el mismo período, en el Laboratorio de Parasitología de la EEA INTA Bariloche se calculó, para 25 establecimientos del área de estudio la prevalencia de fasciolosis (P FH). El rango de afectación observado varió según los establecimientos del 0 al 100%. Dado que los mallines proporcionan el ambiente donde se desarrolla el huésped intermediario de *Fasciola hepatica*, se identificó y se extrajo para cada establecimiento el valor de IVN promedio correspondiente a estos sitios. Según estos valores, se reclasificaron las áreas de mallines en tres clases. La correlación entre la prevalencia y el área ocupada por cada clase de IVN resultaron estadísticamente significativas ($p < 0,05$) y mostraron una fuerte relación entre dos clases de IVN y la prevalencia de fasciolosis. En base a los resultados obtenidos se generó un mapa de riesgo a fasciolosis para toda el área de estudio. Este trabajo sugiere que la proporción ocupada por las diferentes clases de IVN puede ser

utilizada para predecir el nivel de riesgo de ocurrencia de la fasciolosis en el ganado ovino y bovino de la zona.

Palabras clave: *Fasciola hepatica*; fasciolosis bovina y ovina; mallines de Río Negro; IVN; mapas de riesgo, SIG.

Development of a geographic information system to evaluate the risk of fasciolosis in livestock from north Patagonia.

Abstract

The present study describe an analytic tool to identify different risk areas for sheep and cattle fasciolosis in north-Patagonian environment, based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) obtained through remote sensing. Composite 16 day NDVI image of 250 meters resolution from MODIS series was used to create a ten year (2000 – 2009) mean NDVI value. The study area, located in the west of Río Negro province, has a total surface of 2,700,000 ha. The fasciolosis prevalence data was obtained by coprological techniques and recorded in the database of the Parasitological Laboratory of the EEA INTA Bariloche, during the same study period. The estimated prevalence, range 0 to 100%, corresponds to 25 farms. For each farm the mean NDVI values corresponding to areas of wetlands, where the intermediate host of *Fasciola hepatica* develop, were identified and extracted. These values were reclassified into three classes. The correlation between the prevalence and the area occupied by each class of NDVI are statistically significant ($p < 0.05$) and shows a strong relationship between two NDVI classes and the prevalence of fasciolosis. After the result obtained, a risk map of fasciolosis of sheep and cattle was developed. This work suggests that the proportion occupied by the different classes of NDVI can be used to predict the risk level of occurrence of fasciolosis in cattle and sheep.

Keywords: *Fasciola hepatica*, sheep and cattle fasciolosis, wetlands, NDVI, risk maps, geographic information systems.

1. Introducción

La fasciolosis es una enfermedad parasitaria causada por el trematode *Fasciola hepatica* (Linneaus, 1758) que afecta a una gran variedad de animales vertebrados mamíferos (incluido el hombre) y ocasionalmente a las aves (Hurtrez-Boussès *et al.*, 2001; Pereira Soares *et al.*, 2007). Se manifiesta con cuadros que cursan de agudos a crónico, según la intensidad de infestación y la susceptibilidad de la especie animal afectada. Los principales signos clínicos asociados son la anemia, acumulación de líquido en los tejidos y pérdida de peso en los casos crónicos, hasta muertes por daño hepático sin sintomatología aparente en las presentaciones agudas (Olaechea, 2004).

La Organización Mundial para la Salud considera a la fasciolosis como la zoonosis¹ transmitida por alimentos de mayor importancia mundial (WHO Technical Report Series 849 , 2011). Los casos de la enfermedad se registran en más de 50 países y en todos los continentes menos en el Antártico, se estima que el número de personas infestadas en todo el mundo puede llegar a 17 millones (CDC, 2010).

En Argentina el primer diagnóstico de fasciolosis humana autóctona data del año 1924; a partir del cual y hasta el 2010 se han reportado un total de 619 casos. La mayor cantidad de casos se concentra en las provincias de Córdoba, Catamarca, San Luís y Mendoza, mientras que en las restantes, los reportes son esporádicos. Por tratarse de una enfermedad cuya denuncia no es obligatoria, se estima que el número de pacientes es mayor y que la incidencia de la enfermedad se encuentra subestimada tanto en el número de pacientes como en su distribución geográfica (Mera y Sierra *et al.*, 2011).

¹ Enfermedad de los animales que puede afectar al hombre.

La importancia económica de la enfermedad se visualiza claramente en los animales donde la muerte, el decomiso a la faena y el costo de los tratamientos reporta una pérdida directa. El perjuicio indirecto, ocasionado por patologías subclínicas, resulta más complejo de evaluar debido a que producen una reducción de los índices productivos del ganado y es considerado como el de mayor impacto económico. Estudios al respecto estiman que los rodeos vacunos afectados sufren una reducción de entre el 1 y el 3% en la producción de terneros, como consecuencia de la disminución del índice de fertilidad. La ganancia de peso en terneros puede verse afectada en un 8% en presencia de cargas parasitarias leves y la recuperación de los niveles de rendimiento demora hasta 26 semanas después de tratada la enfermedad. En engordes intensivos a corral, ubicados en áreas enzoóticas, se ha observado un incremento promedio de la ganancia de peso del 9,5% en animales tratados (Kaplan, 2001).

En ovinos se ha reportado una reducción en la producción y calidad de la lana de entre el 20 y 39%. También se observa una menor cantidad de corderos producidos con una tasa de crecimiento pobre, lo que implica mayores costos de reposición de la majada (Robles y Olaechea, 2001).

A nivel mundial la Food and Agricultural Organization (FAO), estima que el costo de la fasciolosis debido a pérdidas directas e indirectas en la producción de ovinos y bovinos es de USD 3000 millones anuales (FAO, 1994).

En Argentina, la información existente dificulta una evaluación adecuada de las pérdidas ocasionadas. La estadística nacional más aproximada deriva del registro de decomisos de hígados, elaborado por el Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Agroalimentaria (SENASA) (Figura 1). Según esta fuente para el período 2006 - 2009 las prevalencias registradas por provincias fueron de 0,14 a 21,42% en bovinos, mientras que en ovinos,

donde sólo se tienen datos de seis provincias, van del 0,04 al 7,58% (SENASA). Los porcentajes de afectación en las provincias de Río Negro y Chubut se encuentran entre los más altos del país (Figura 1). Como la Patagonia sólo representa el 1,6% de la faena bovina nacional (ONCCA), los altos valores no influyen en la prevalencia general, pero si dan una idea de la importancia local de la enfermedad (Figura 1).

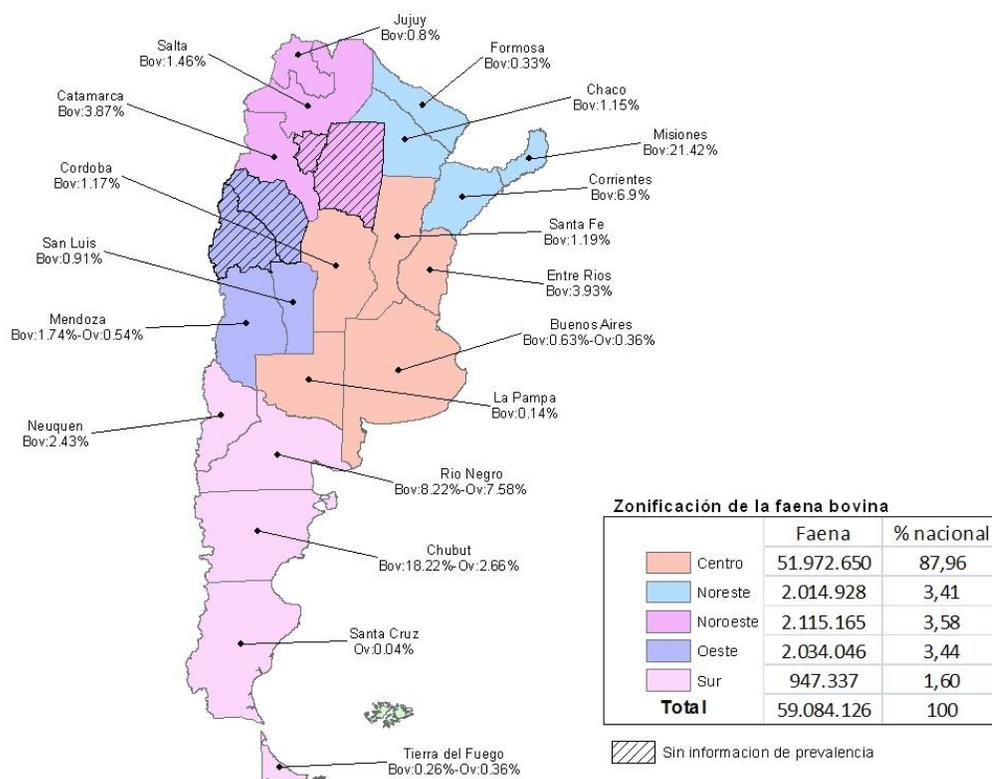


Figura 1: Prevalencia de fasciolosis bovina (Bov.) y ovina (Ov.) por provincia (estadísticas del SENASA) y zonificación de la faena bovina (registro Oncca Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación), período 2006 – 2009.

Fuente: <http://www.senasa.gov.ar> ; <http://www.oncca.gov.ar>

Entre las observaciones que podemos encontrar al registro oficial, cabe destacar que sólo considera a los mataderos que cuentan con inspección nacional, dejando al margen de la estadística a los establecimientos con jurisdicción provincial o municipal.

Por otro lado se incluye como distomatosis a todas las afecciones hepáticas causales de decomiso, lo que genera registros de casos en localizaciones donde no se ha detectado la presencia del agente causal. También se puede inferir que la incidencia en ovinos se encuentra subestimada, dado que el principal producto carnicero corresponde a la categoría corderos y éstos, debido a su corta edad de faena, no llegan a manifestar signos hepáticos de la enfermedad.

El ciclo biológico de *Fasciola hepatica* involucra a un huésped definitivo, donde el parásito adquiere la madurez y cumple la etapa de reproducción sexual. Y un huésped intermediario, en el que se cumplen multiplicaciones asexuales (Boray, 1969). El parásito adulto es un gusano plano, de color marrón a gris, que reside en los conductos biliares del huésped definitivo, pudiendo alcanzar un tamaño de 50 mm de largo por 12 mm de ancho (Olaechea, 2007).

El ciclo puede dividirse en tres fases (Figura 2):

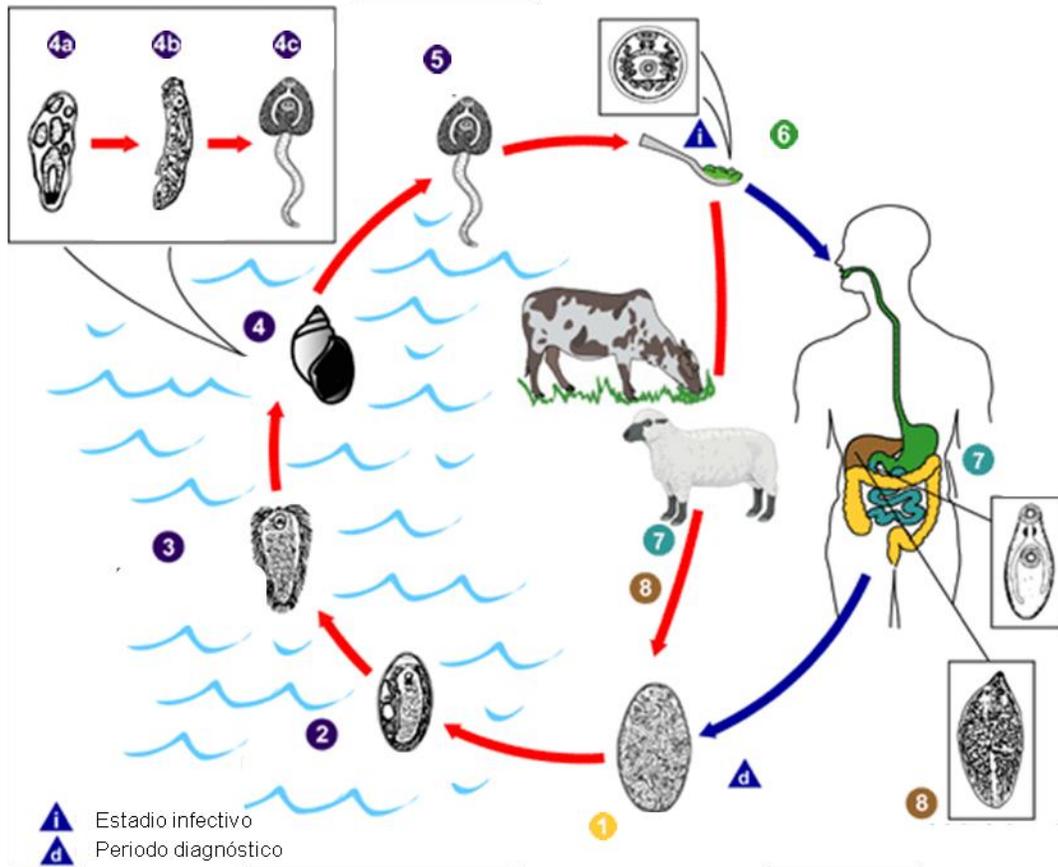
- 1- Dentro del huésped definitivo (juveniles, adultos y huevos).
- 2- En el medio ambiente (huevos, miracidios, cercarias y metacercarias).
- 3- Dentro del huésped intermediario (esporocistos, redias y cercarias)

Los principales huéspedes definitivos son mamíferos herbívoros y omnívoros que adquieren la infestación al ingerir metacercarias adheridas a la vegetación o suspendidas en el agua. Horas después de la ingestión, en el intestino del huésped, emerge un parásito

juvenil que atraviesa la pared intestinal, migra por el peritoneo hacia el hígado, penetra la cápsula de Glisson, migra por el parénquima hepático y se establece en los conductos biliares 5 a 6 semanas post-infestación. Transcurridos entre 2 y 3 meses, el parásito completa su desarrollo y comienza la puesta de huevos que mediante la bilis alcanzan la materia fecal y son diseminados en el medio ambiente. En contacto con el agua y con rangos de temperatura óptimos entre 10° y 30° C, los huevos se desarrollan y de ellos emerge una larva ciliada, denominada miracidio, que nada activamente en busca del huésped intermediario (Andrews, 1999).

Los caracoles anfibios del género *Lymnaea*, que viven en el barro húmedo o en bajos no inundables de aguas poco profundas y mal drenadas, han sido identificados en Sud América, así como en el resto del mundo, como responsables de completar el ciclo de *Fasciola hepatica* (Olaechea, 2007). Una vez encontrado el caracol, el miracidio penetra su tegumento y en el interior del molusco ocurren una serie de reproducciones asexuales (esporosisto, redias, cercarias).

Por cada miracidio que penetra al caracol pueden producirse entre 800 y 4000 cercarias que, una vez maduras, emergen a través de sus tejidos y nadan en busca de un sustrato donde enquistarse (hojas y tallos). En el proceso de enquistamiento secretan una sustancia gelatinosa que las rodea y protege de las condiciones ambientales. Estos quistes, denominados metacercarias, que constituyen el estadio infestante, permanecen en la vegetación a la espera de ser consumidos por el hospedador definitivo (Olaechea, 1994; Andrews, 1999).



- | | |
|--------------------------|---|
| ① Huevos inmaduros | ④c Cercaria |
| ② Huevos embrionados | ⑤ Cercaria libre |
| ③ Miracidio | ⑥ Metacercaria |
| ④ Caracol género Lymnaea | ⑦ Estadio juvenil migrante |
| ④a Esporocisto | ⑧ Parásito adulto en conductos biliares |
| ④b Redia | |

Figura 2: Ciclo biológico de *Fasciola hepatica*

Fuente: Center for Disease Control and Prevention. <http://www.cdc.gov/parasites/fasciola/biology.html>

Para que logre establecerse una enfermedad en una zona determinada, en la misma deben coincidir el agente causal, el o los huéspedes susceptibles y las características ambientales propicias. A esta conjunción de determinantes se la define como tríada epidemiológica, donde cada uno de sus componentes posee diversas características que influyen en la presentación y determinan la naturaleza multifactorial de la enfermedad (Thrusfield, 1990).

En el caso de la fasciolosis es necesaria la presencia del huésped definitivo, el intermediario y de factores ambientales que influyen en la supervivencia y continuidad del ciclo tales como humedad, vegetación y temperaturas mínima media de 8° a 10°C (Malone, 2005). En la Patagonia, los humedales (mallines), aportan las características ambientales que permiten el desarrollo del huésped intermediario (Kleiman *et al.*, 2007). Estos humedales se localizan en la parte central de los cauces, poseen suelos con drenaje pobre (por lo que son frecuentes los períodos de inundación), no son salinos, tienen un alto contenido de materia orgánica (de 6 a más del 10%) y su pH varía de 6 a 7,8 (Lopez *et al.*, 2004). La cobertura vegetal va del 90 al 100% y la producción estimada es 2500 a 7000 Kg MS/ha año, con predominio de especies palatables para el ganado, conformando así la principal fuente forrajera de la región (Lopez *et al.*, 2004). La conjunción de características ambientales propicias para el desarrollo del huésped intermediario y del recurso forrajero indispensable para la producción ganadera, propician el encuentro entre hospedadores y parásito, convirtiendo a la fasciolosis en una enfermedad ampliamente distribuida en el ganado ovino y bovino de la zona (Olaechea, 2007; Olaechea *et al.*, 2011). Las bajas temperaturas invernales, directamente asociadas a la latitud y la altitud, limitan la continuidad del ciclo y la distribución de la enfermedad en Patagonia. El límite sur de la distribución de *Fasciola hepatica*, se ubica en la provincia de Santa Cruz, en el al paralelo 49° 42´(Aguilar y Olaechea, 2008).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tienen la capacidad integrar datos provenientes de distintas fuentes, como estudios de campo y sensores remotos; realizar análisis espaciales y generar reportes de la información analizada. La creciente accesibilidad y capacidad, tanto de los programas específicos de SIG como de las computadoras personales, hace que esta herramienta sea cada vez más utilizada en el campo

de la medicina veterinaria para la realización de estudios de epidemiología espacial, en programas de vigilancia epidemiológica y para la constatación de hipótesis (Carpenter, 2011). Dentro de la temática parasitaria el uso del SIG en combinación con datos de sensores remotos, se encuentra ampliamente aceptado como una herramienta que contribuye a comprender los procesos epidemiológicos que involucran enfermedad, vector, hospedador y ambiente. La incorporación metodológica se ve evidenciada por el número de publicaciones, que en la década del 1990 pasó de 3 cada 2 años a 60 por año (Hendrickx *et al.*, 2004). La mayoría de los trabajos se dedicaron al estudio de la mosca tsetse y la tripanosomiasis, de las garrapatas como vector de la enfermedad de Lyme, de mosquitos y casos de malaria, y enfermedades que tienen a caracoles como huéspedes intermediarios como schistosomiasis y fasciolosis (Malone *et al.*, 2001a).

Entre la información obtenida mediante sensores remotos, el Índice de Vegetación Normalizado (IVN) es el dato más frecuentemente utilizado. Este índice construido en base a la reflectancia diferencial de las bandas del rojo e infrarrojo por parte de los tejidos fotosintéticamente activos, permite evaluar las cubiertas vegetales y estimar su dinámica. En Patagonia se ha demostrado que el IVN resulta un buen estimador de la producción primaria neta aérea tanto de estepas (Paruelo *et al.*, 2004) como de mallines, y que ésta se encuentra directamente relacionada con la humedad del sistema (Peña *et al.*, 2008; Buono *et al.*, 2010). Este índice como estimador indirecto de la humedad, aporta información que permite delimitar hábitats de condiciones necesarias para el desarrollo y mantenimiento de distintas parasitosis (Malone *et al.*, 2001b). En el caso específico de las enfermedades mediadas por caracoles se ha utilizado el IVN en combinación con la temperatura y otros factores ambientales, en la construcción de SIG capaces de predecir la distribución potencial, generar mapas de riesgo y proponer estrategias de control (Malone *et al.*, 1998;

Yilma y Malone, 1998; Cringoli *et al.*, 2004). Asimismo, modelos de clasificación de ambientes basados en diferencias del IVN, se emplearon en el altiplano del norte de Bolivia para generar mapas predictivos de fasciolosis humana (Fuentes *et al.*, 2001). En Argentina, estas técnicas, aun no se han empleado en el estudio de la fasciolosis animal.

Siguiendo esta línea conceptual y en base al conocimiento de los factores que condicionan la ocurrencia de la enfermedad en Patagonia, el presente trabajo propone validar localmente el uso de los parámetros de IVN en mallines, obtenidos mediante satélites de la serie “Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer” (MODIS) y generar un modelo de zonificación del riesgo a fasciolosis en el ganado de la región. Para tal fin se analizará la relación entre las características ambientales (empleando técnicas de teledetección y SIG) y datos de prevalencia de *Fasciola hepatica* en ovinos y bovinos.

2. Materiales y Métodos

2.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza en la provincia de Río Negro, al este de la ciudad de Bariloche. Abarca una superficie de 2.700.000 ha, que de oeste a este comprende parte de las áreas ecológicas de precordillera, sierras y mesetas occidentales y meseta central rionegrina (Figura 3). En el sentido oeste-este la temperatura media anual varía de los 8°C a los 12°C, mientras que las precipitaciones disminuyen desde los 600 mm a menos de 200 mm.

El relieve comprende el gradiente que va desde cordones montañosos y sierras, en la región de precordillera, hasta las peneplanicies y mesetas basálticas de la meseta central, con un rango de altitud de entre 1200 y 800 msnm.

La vegetación está compuesta por estepas gramíneas de *Pappostipa major* y *Festuca pallescens* y por estepas arbustivo gramíneas de *Mulinum spinosum*, *Senecio spp.* y *Pappostipa speciosa* (Bran *et al.*, 2000). Los mallines, presentes en el área, disminuyen en cantidad, extensión y en composición florística siguiendo el gradiente de precipitaciones y representan, en promedio, un 3% de la superficie de la zona de estudio.

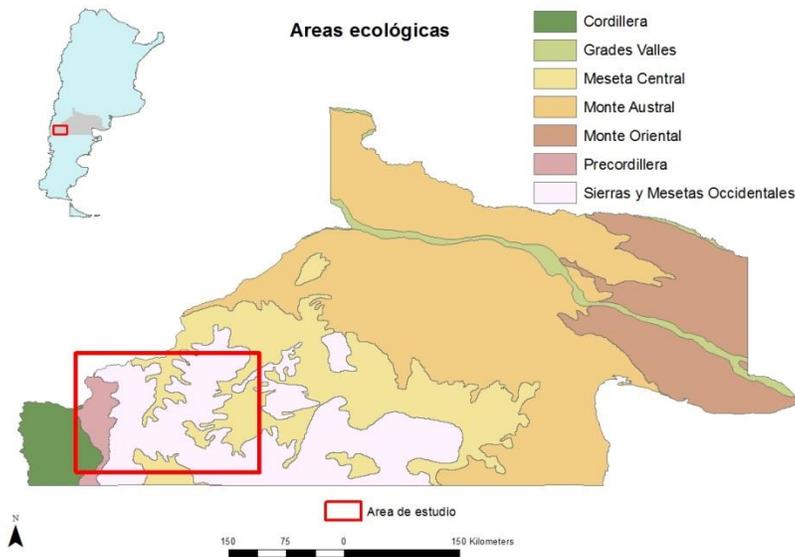


Figura 3: Áreas ecológicas de Río Negro (Bran D. *et al.*, 2000) y localización del área de estudio

2.2. Prevalencia de fasciolosis

En el laboratorio de parasitología de la EEA INTA Bariloche se realizan, desde hace más de 20 años, los análisis coproparasitológicos (mediante la técnica de sedimentación) para la determinación de *F. hepatica* en bovinos y ovinos de los establecimientos ganaderos de la zona. Esta información, originalmente almacenada en distintos soportes (registros papel o planillas de cálculo), se compiló en una base de datos relacional Microsoft Access[®]. Con la información ordenada se procedió al cálculo para cada establecimiento de la prevalencia (número de animales infestados sobre el total de análisis realizados) de fasciolosis (P FH) bovina y ovina para el período 2000 – 2009.

Del proceso de selección resultaron 100 análisis distribuidos en 25 establecimientos, que fueron debidamente localizados. En cada caso se calculó la P FH, que varió entre 0% y 100%. La superficie de los establecimientos seleccionados osciló entre 500 a 78.000 ha y en conjunto cubren 290.900 ha, lo que representa un 10,7% del total del área de estudio (Figura 4).

2.3. Datos de sensores remotos

Se utilizó el producto MODIS IVN compuesto cada 16 días de 250 metros de resolución espacial. Esta fuente provee una imagen libre de nubes con los valores representativos de IVN del período, generando 23 imágenes al año.

El Instituto de Clima y Agua del CIRN – INTA Castelar proveyó las 227 imágenes, con los valores de IVN reescalados de 0 a 100, que cubren el período de estudio. Con las mismas, se generó un promedio anual de IVN para el período 2000 – 2009 (Figura 4).

2.4. Información espacial utilizada

Para la conformación del SIG y extracción de los datos se utilizó la cobertura de mallines, generada en el trabajo de caracterización y cartografía de valles y mallines (Lopez *et al.*, 2004). La delimitación de los mallines del área se completó a partir de nuevas digitalizaciones generadas para tal fin en base a imágenes Landsat ETM (disponibles en el sitio <http://glovis.usgs.gov/>). Los establecimientos ganaderos se obtuvieron a partir del catastro rural de Río Negro, aportado por la Secretaría Provincial de Estadística y Censo y digitalizado a cobertura de polígonos en el Lab de Teledetección y SIG de la EEA INTA Bariloche. Dentro del área de estudio se individualizaron 900 polígonos correspondientes a distintos establecimientos ganaderos (Figura 4).

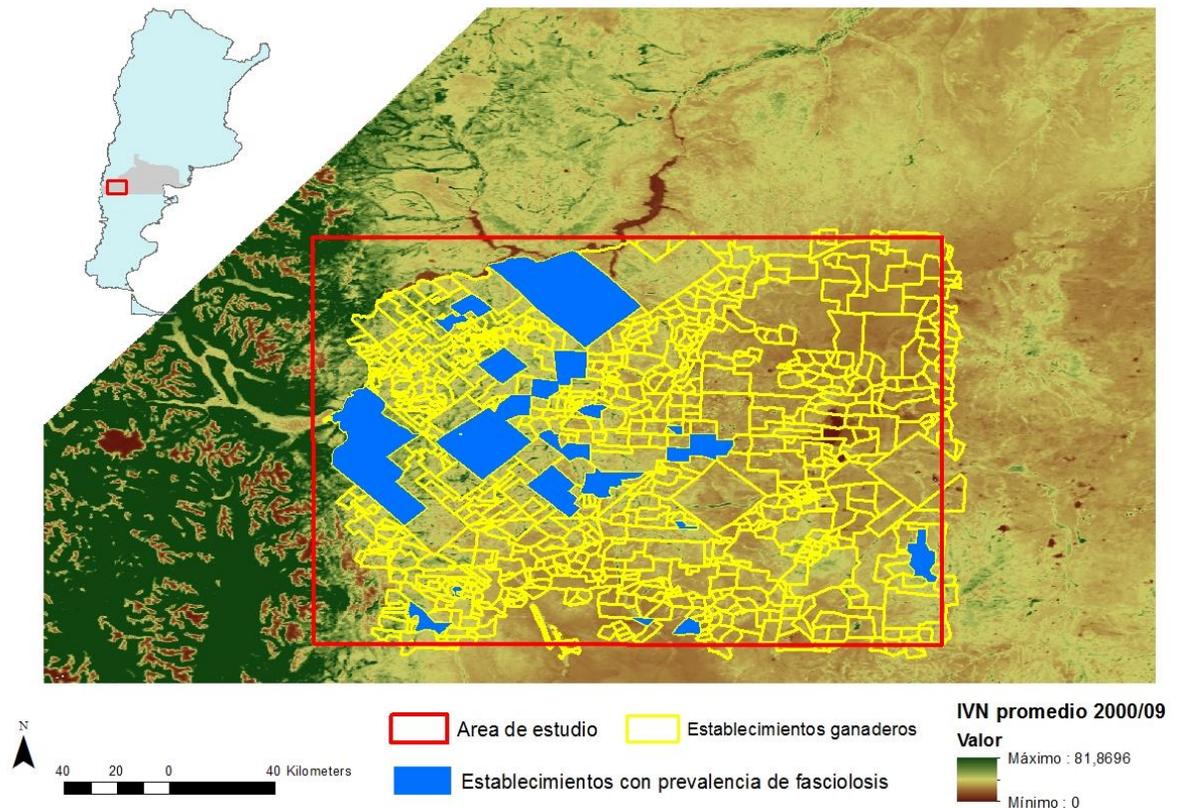


Figura 4: Área de estudio, total de establecimientos ganaderos del área, en azul establecimientos con información parasitológica y promedio anual de IVN (período 2000-2009).

2.5. Secuencia de trabajo y conformación del SIG

A partir de la información sanitaria sistematizada y los establecimientos ganaderos identificados, se generó la intersección entre el catastro rural y la cobertura de mallines, seleccionando así los humedales incluidos en todos los establecimientos del área de estudio. De todos los mallines del área se extractaron los valores de IVN promedio, máximo y mínimo del período, y se contrastaron con los valores de prevalencia de fasciolosis en los establecimientos conocidos. Buscando obtener los datos de IVN más representativos de cada mallín, se utilizaron solamente, los valores de pixel (área más pequeña que compone

la imagen) donde la superficie del mismo coincida en un 50% o más con la cobertura de mallines, a este valor se lo consideró como pixel puro.

Con el objetivo de poder determinar la influencia del IVN en la presentación de la enfermedad, se probaron distintos criterios para clasificar y correlacionar el área de estudio con la ocurrencia observada de fasciolosis. Por un lado se contrastó con el porcentaje de mallín de cada establecimiento. Por otro, para poder comparar mallines de distintos establecimientos, con independencia de la extensión de los mismos, se generaron diez rangos equivalentes en base a la amplitud absoluta y promedio de los valores de IVN observados en los mallines de todos los establecimientos del área (tabla 1). Según estos rangos se clasificaron los mallines y se correlacionó el porcentaje ocupado por cada clase con la prevalencia de la enfermedad (Ver secuencia de trabajo figura 5).

Tanto para la construcción del SIG como para el procesamiento, extracción de datos y reclasificación de las imágenes, se utilizó ArcGis 9.2[®] con la extensión Spatial Analyst.

2.6. Metodología estadística

Se empleó la metodología propuesta para la validación de mapas predictivos de fasciolosis en la región Andina (Fuentes *et al*, 2001). Para tal fin se realizaron análisis de correlación lineal entre la P FH y el área ocupada por cada clase de IVN, así como con el porcentaje total de mallín de cada establecimiento. Se consideró como variable independiente la proporción de mallín (clasificado y total), mientras que como variable dependiente se tomó los valores de la transformación logit de P FH ($\log(P\text{ FH}/P\text{ FH}-1)$). La significancia estadística se estableció en $p < 0,05$.

Por no contar con un set de datos independientes para evaluar el modelo, se empleó la metodología de validación cruzada dejando un dato afuera (este sistema separa los datos de

forma tal que en cada iteración queda una sola muestra de prueba y todo el resto conforman los datos de entrenamiento). Los resultados predichos, producto de las 25 iteraciones, se correlacionaron con los datos observados.

Para todos los cálculos estadísticos se empleó la planilla de cálculo de Microsoft Excel[®] y el programa estadístico OpenStat (<http://www.openstat.es>).

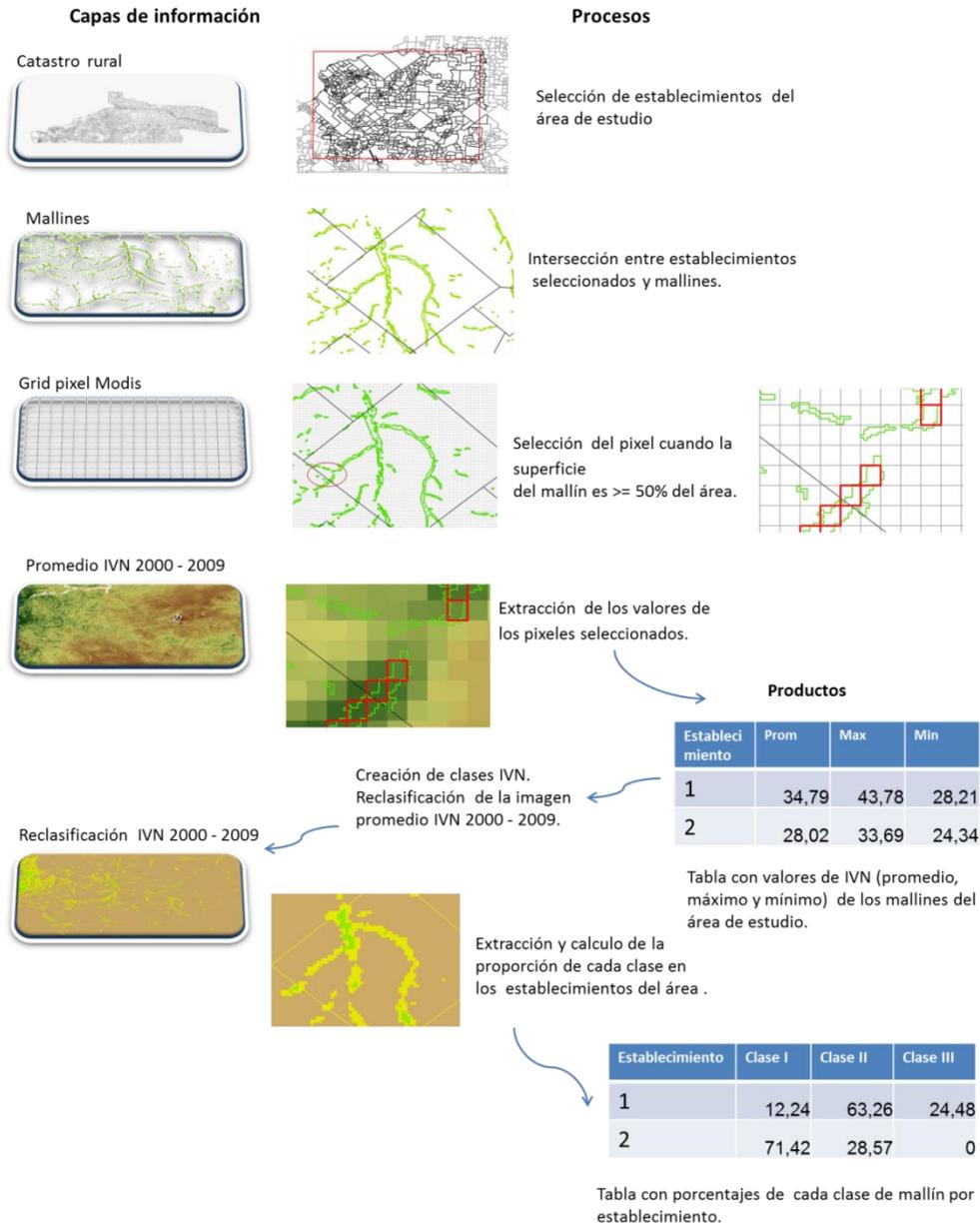


Figura 5: Secuencia de la metodología de trabajo empleada.

3. Resultados

A partir del IVN en mallines de toda el área de estudio, se determinó la amplitud de diez clases equivalentes para generar la clasificación de humedales (tabla 1).

Tabla 1: Determinación de amplitud de clases equivalentes a partir IVN absoluto y promedio de mallines de toda el área de estudio.

	IVN	IVN promedio
Max	60,70	46,85
Min	16,30	20,48
Diferencia	44,39	26,37
Amplitud clase	4,44	2,64

En base a los resultados iniciales de las correlaciones entre el porcentaje ocupado por cada clase y la prevalencia de fasciolosis, se decidió, por un lado descartar la clasificación basada en el IVN promedio dado que no aportaba diferencias relevantes con respecto a la de máximo y mínimo. Por otro, para simplificar el análisis, se reagruparon los rangos basados en el IVN máximo y mínimo para generar una segunda clasificación de tres estratos, en busca de correspondencia con niveles de afectación de fasciolosis alto, medio y bajo. Para esto, se fusionaron los rangos con índice de correlación negativo, mientras que con los demás, se probaron distintas agrupaciones en busca de la mayor correlación (tabla 2).

Tabla 2: Rangos equivalentes de IVN generadas a partir del máximo y mínimo observado en toda el área de estudio y su reagrupación en tres clases.

Clases equivalentes	Rangos de IVN	Clases agrupadas
C I	16,3 - 20,74	
C II	20,741 - 25,18	
C III	25,181 - 29,62	C I
C IV	29,621 - 34,06	
C V	34,061 - 38,5	C II
C VI	38,51 - 42,94	
C VII	42,941 - 47,38	
C VIII	47,381 - 51,82	
C IX	51,821 - 56,26	
C X	56,261 - 60,70	C III

La correlación entre las clases C I y C II y la transformación logit de P FH mostraron una asociación fuerte y resultaron estadísticamente significativas. En tanto no se encontró asociación con el porcentaje total de mallines y con la clase C III (tabla 3).

Tabla 3: Correlación (R) y significancia estadística (p) entre la transformación logit de la prevalencia de fasciolosis y el porcentaje de mallín del establecimiento y de las áreas ocupadas por cada clase.

	Mallin %	IVN C I (< 29.62)	IVN C II (29.62 - 38.5)	IVN C III (> 38.5)
R	0,22	-0,79	0,66	0,23
p	>0,05	<0,0001	<0,001	>0,05

El porcentaje total de mallín de cada establecimiento y la proporción de cada clase, en los establecimientos con P FH conocida, tomó la distribución que se observa en la tabla 4.

Tabla 4: Porcentaje total en relación a la superficie y proporción de cada clase de mallín en establecimientos ganaderos con prevalencia de fasciolosis conocida. Clases IVN C I, C II y C III rangos de clasificación según valores de IVN

Establecimiento	Mallín %	IVN C I (< 29,62)	IVN C II (29,62 – 38,5)	IVN C III (> 38,5)	P FH (%)
1	0,29	100	0	0	0
2	0,74	100	0	0	0
3	1,11	60	40	0	0
4	1,19	66,67	33,33	0	0
5	2,98	71,43	28,57	0	0
6	4,45	2,14	44,92	52,94	24,82
7	5,48	0	66,67	33,33	26,67
8	0,61	0	66,67	33,33	27,22
9	3,83	37,50	62,5	0	35
10	1,96	4,35	30,43	65,22	42,14
11	2,21	33,33	55,56	11,11	50
12	20,93	3,74	28,02	68,24	52,14
13	17,73	0,93	25,04	74,03	53,33
14	0,41	0	100	0	55,56
15	0,65	12,24	63,27	24,49	55,95
16	0,21	0	66,67	33,33	56,16
17	3,25	21,62	78,38	0	57,73
18	3,21	10	10	80	66,67
19	5,81	25	75	0	70,27
20	0,85	40	60	0	75
21	0,92	40	60	0	75
22	8,09	0	74,29	25,71	77,78
23	6,35	3,51	64,04	32,46	80
24	1	0	100	0	81,25
25	3,64	4,35	95,65	0	100

Se comprobaron los resultados de la clase C I mediante validación cruzada dejando un dato afuera. Se diagramó y calculó la correlación entre los resultados predichos y observados (Figura 6).

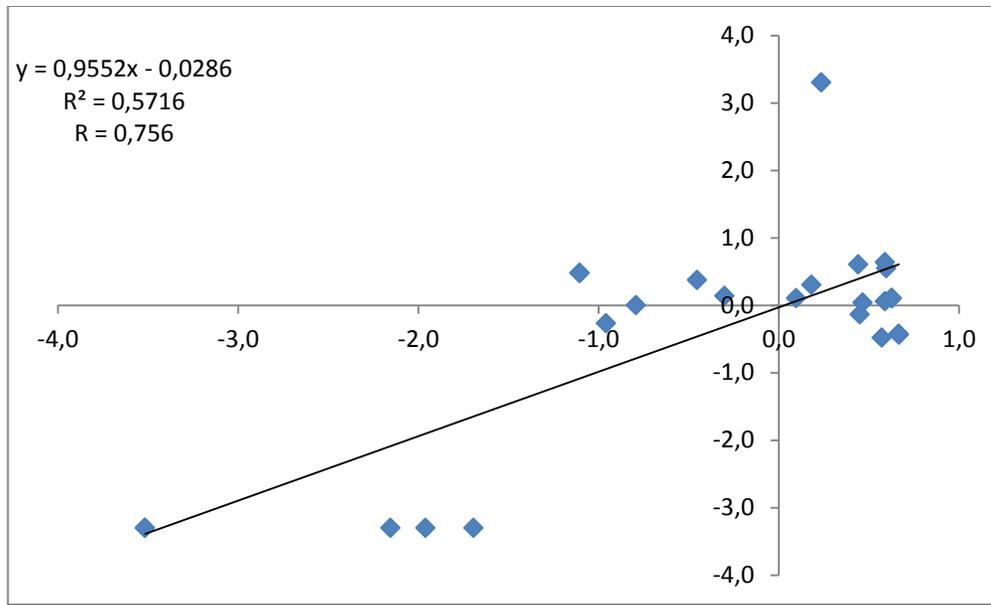


Figura 6: Diagrama de dispersión y correlación. Eje vertical valores observados, eje horizontal valores predichos. Comprobación realizada en base a la clasificación C I.

Basado en la relación estadística encontrada entre las clases de IVN y la prevalencia de *Fasciola hepatica*, y ante la imposibilidad de generar una clasificación de tres estratos, se desarrolló para el área de estudio, un mapa de riesgo de fasciolosis en el ganado bovino y ovino, en el que se definió C I como área de bajo riesgo y a la superficie comprendida por las clases C II–III como zona de riesgo medio - alto de ocurrencia de fasciolosis (Figura 7).

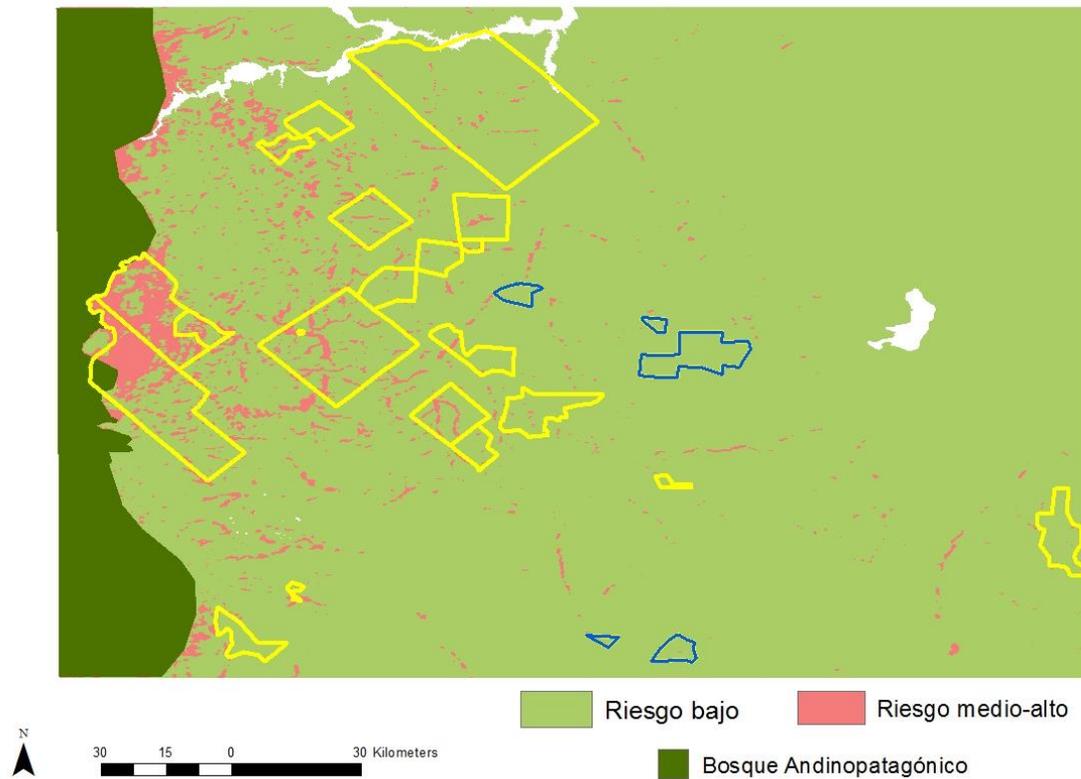


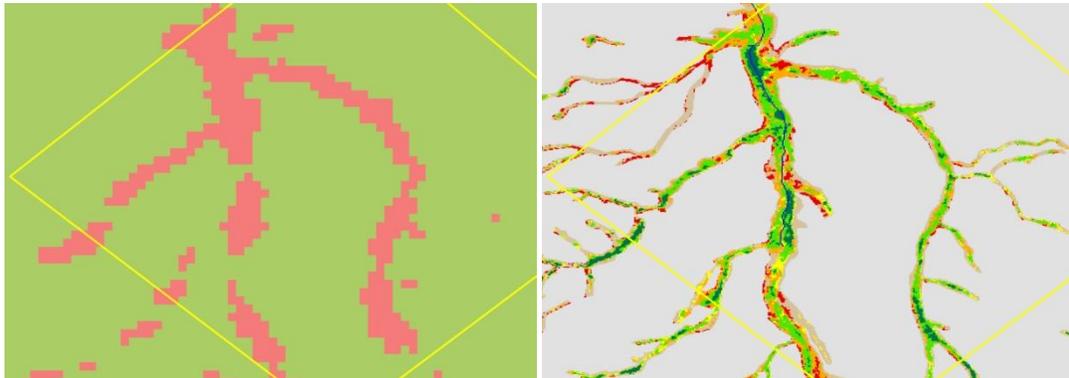
Figura 7: Mapa de riesgo de fasciolosis del ganado. Establecimientos en azul, prevalencia igual a 0%, en amarillo prevalencias mayor que 0%. En verde oscuro, zona de bosque andino patagónico, no incluida en la clasificación.

Si se compara la zonificación generada con la caracterización de los mallines del sudoeste de Río Negro (Lopez *et al.*, 2004), se observa que las zonas de mayor riesgo concuerdan con las áreas clasificadas como mallines húmedos y muy húmedos (Figura 8).

Zonificación de riesgo

Caracterización de mallines

A)



B)

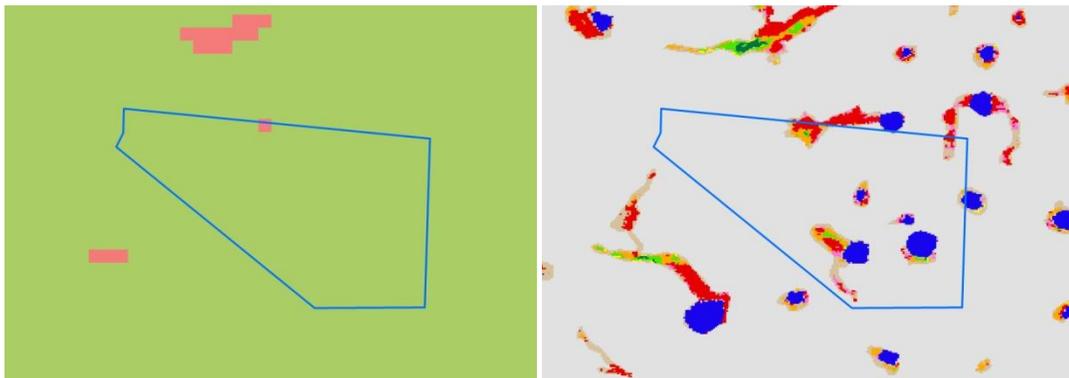


Figura 8: Comparación entre la zonificación de riesgo a fasciolosis y la caracterización de mallines del sudoeste de Río Negro. A: establecimiento con prevalencia de fasciolosis $> 0\%$. B: establecimiento con prevalencia $= 0\%$.

La combinación del catastro rural con la clasificación de mallines propuesta, permite generar un mapa de riesgo predial (Figura 9), donde se califican los establecimientos según la proporción de clases que componen sus mallines.

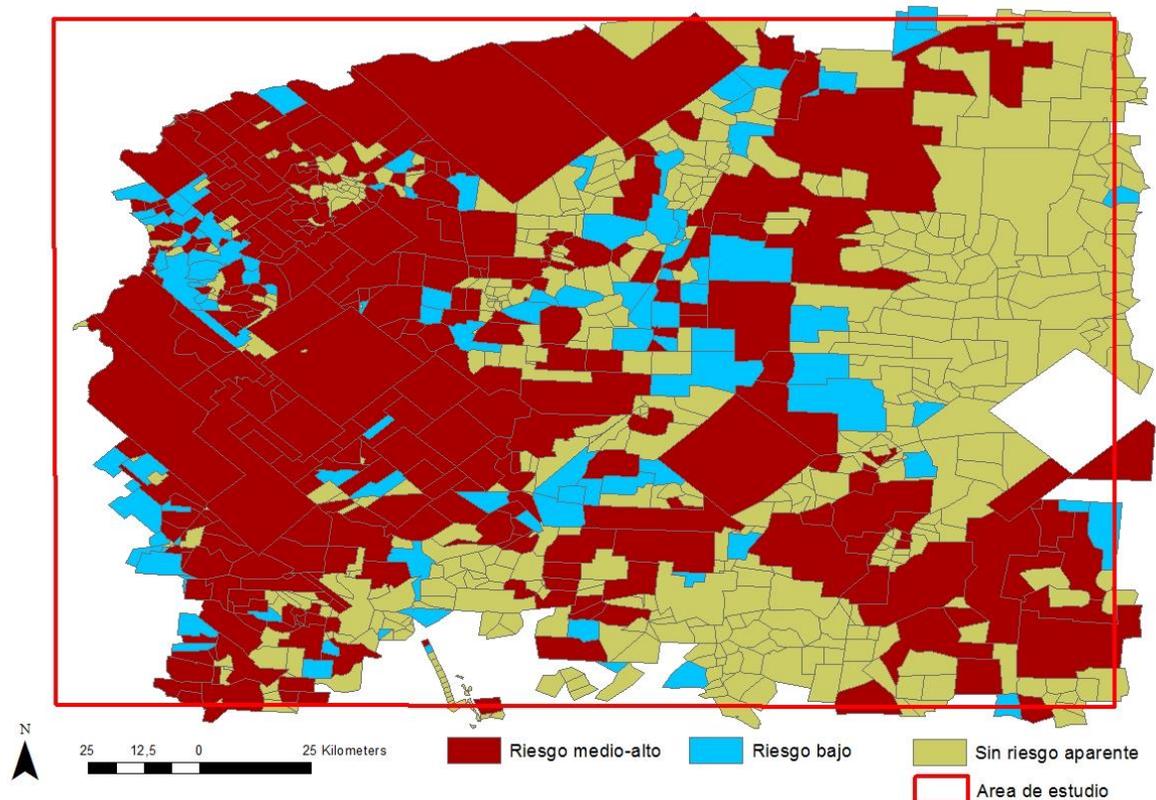


Figura 9: Mapa de riesgo de fasciolosis a nivel predial. Rojo: Riesgo medio alto (superficie de la clase C II-III >40%). Azul: Riesgo bajo (superficie de la clase C I => 60%). Verde: sin riesgo aparente (establecimientos sin mallines o de reducida superficie).

4. Discusión

Si bien la presencia de humedales es condición indispensable para el desarrollo del ciclo parasitario, la proporción de los mismos respecto al tamaño de los establecimientos ganaderos no evidencia relación con la prevalencia de *Fasciola hepatica*. Según lo que se observa en la tabla 4, establecimientos con P FH igual a 0 tienen tanta o más superficie relativa de mallín que otros con alta P FH. Debido a la importancia en la alimentación del ganado, estas zonas sufren una alta presión de pastoreo, así los establecimientos con menor superficie relativa de los mismos, concentran la oferta forrajera y parasitaria en áreas

reducidas. A su vez la escasa dimensión del recurso limita las prácticas zootécnicas de manejo de pasturas tendientes a reducir la carga parasitaria de las mismas (Olaechea, 2007). Los resultados obtenidos a partir de la clasificación de los mallines (Tabla 4), muestran una correlación negativa fuerte ($R = -0,79$) entre la clase de IVN C I y P FH, mientras que con la clase C II-III (complementaria de la clase C I) adopta signo positivo. La metodología de validación cruzada aplicada a la clase C I mostró una correlación entre datos observados y predichos por el modelos de 0,75.

Indicativo de esta relación entre superficie de la clase y nivel de infestación es que en todos los establecimientos con P FH igual a 0, la C I (IVN más bajo) ocupó del 60 al 100% de la superficie de los mallines. Mientras que en donde la P FH es mayor que cero, C I disminuye del 60 al 0%, con el consiguiente aumento de la clase C II-III de IVN más alto (Tabla 4).

La asociación de una característica ambiental con un dato de prevalencia por establecimiento conlleva una simplificación impuesta por la disponibilidad de información que podría ser responsable de la ausencia de correspondencia estadística para la clase de IVN C III (Tabla 3).

Algunas prácticas habituales en el manejo zootécnico pueden interferir esta relación, por ejemplo, tratamientos antiparasitarios sistemáticos o estratégicos en los animales, que modifiquen la tasa de P FH con independencia de las particularidades del ambiente. Por otro lado la metodología aplicada de tomar el establecimiento como un todo, no contemplando la subdivisión de los establecimientos ganaderos en distintos potreros y su utilización diferenciada a lo largo del proceso productivo, puede inducir a una asociación errónea entre el ambiente empleado y la prevalencia de fasciolosis.

De acuerdo con los conceptos de la epidemiología espacial, una enfermedad, tiene un hábitat natural que corresponde a áreas puntuales donde coinciden la distribución del parásito, del vector, del huésped y sus requerimientos ambientales. Dentro de estas áreas se observa un rango de zonas favorables donde se encuentra y mantiene la enfermedad. Cerca de los límites de la distribución hay parches de zonas marginales de baja abundancia e inestabilidad epidemiológica y más allá de estos parches no se encuentra la enfermedad. Los límites de distribución no son fijos y fluctúan con las condiciones climáticas y otros componentes ambientales (Malone, 2005). En la fasciolosis las condiciones de humedad definen el hábitat, encontramos entonces ambientes endémicos, denominados “focos de origen” con poblaciones permanentes de caracoles, “focos de diseminación” donde las poblaciones son cambiantes y dependen de los focos de origen. Por último, “focos temporales” donde los caracoles encuentran esporádicamente condiciones de supervivencia (Olaechea, 2007).

La correspondencia entre la clasificación propuesta y la caracterización de mallines del sudoeste de Río Negro (Figura 8), confirma que los mallines húmedos y subhúmedos conforman el nicho ambiental de mayor riesgo, dado que reúnen las características necesarias para el mantenimiento y transmisión de la parasitosis. Si bien los mapas de caracterización de mallines aportan un mejor detalle de los ambientes, estos no se encuentran disponibles para toda el área de estudio, además aportan una vista estática generada a partir del momento de la clasificación. El compuesto IVN MODIS, presenta como limitante principal su resolución espacial de 250 m que deja fuera de la clasificación mallines pequeños, pero en contraposición aporta una importante resolución temporal. Esta cualidad permite por un lado contar con un producto libre de nubes, que en el área de estudio enmascaran buena parte del año. Por otro facilitan la generación de secuencias

temporales para verificar cambios interanuales y posibilitan la creación de sistemas predictivos de alerta.

La incorporación del catastro rural a la construcción del SIG brinda la capacidad de trasladar la zonificación de riesgo regional a nivel de establecimiento (Figura 9). Tomando como base los resultados de la relación entre la superficie de cada clase de mallín y la prevalencia de fasciolosis, se estableció como establecimientos de riesgo bajo, los que presentan el 60% o más de sus mallines categorizados como C I. En contraposición, los que poseen superficies de C II-III mayores al 40% pueden ser caracterizados como establecimientos de riesgo medio-alto. En tanto los predios que no poseen mallines o donde la superficie de los mismos no alcanza el tamaño mínimo para ser considerados como pixel puro (más del 50% del pixel MODIS), quedan clasificados como establecimientos sin riesgo aparente. A nivel general, los predios con mayor riesgo aumentan de Este a Oeste en correspondencia con los mallines más húmedos y el gradiente de precipitaciones (Lopez *et al.*, 2004), en particular se observan diferencias puntuales a esta tendencia que obedecen a las características propias de cada establecimiento.

Si bien la clasificación de ambientes en base al IVN de los mallines permite determinar un punto de riesgo bajo, no resulta efectiva para discriminar gradaciones superiores. A diferencia de otro trabajo donde se empleó la misma técnica (Fuentes *et al.*, 2001), en este caso, tanto la incidencia de la enfermedad como la característica ambiental corresponden a establecimientos puntuales y no a promedios de grandes áreas, lo que posiblemente influya en la capacidad del modelo para diferenciar ambientes. Por otro lado los datos de prevalencia disponibles presentan pocos valores intermedios, lo que reduce la posibilidad de asociar este estrato con su contraparte ambiental. La ausencia de relación en las prevalencias medias y altas de la enfermedad indica la necesidad de continuar los estudios

con el objetivo de determinar si es posible establecer en base a las características ambientales una gradación de riesgo más escalonada que brinde mayor información y permita la creación de mapas de mejor detalle. Para tal fin, teniendo en cuenta la multiplicidad de factores que intervienen en la presentación de la enfermedad, podría ser necesario incorporar en la construcción del SIG otros parámetros, como temperaturas máximas y mínimas, arroyos, orientación y pendiente del terreno, que permitan una caracterización más detallada de las áreas de estudio. Por otro lado, la realización de relevamientos de campo sobre la presencia y abundancia del huésped intermediario y prevalencia de la enfermedad en rodeos con historial de manejo zootécnico conocido, permitiría contrastar las características del ambiente con información sanitaria de mayor certidumbre.

5. Conclusiones generales

La técnica empleada de clasificación de mallines en base al rango de IVN y el cálculo del porcentaje de ocupación de cada una de las clases por establecimiento ganadero posibilita transformar la superficie del mallín en relativa al porcentaje de cada clase, lo que permite la comparación entre establecimientos de distintas dimensiones con diferentes áreas totales de mallines.

El centrar los cálculos en los datos de los píxeles puros de mallín minimiza las interferencias y distorsiones de las áreas de secano, resultando una práctica de suma utilidad para generar mapas de riesgo regionales en zonas áridas, donde sólo una parte limitada del ambiente conforma el nicho ecológico de la enfermedad.

El uso del catastro rural en la zonificación de riesgo, aporta un nivel de información más detallado y permite advertir diferentes situaciones prediales que contrastan con el contexto regional.

La inclusión en el análisis de establecimientos pequeños con superficies de mallines acotadas, requiere una revisión de la georreferenciación del croquis catastral y de la cobertura de mallines, dado que cualquier corrimiento leve en alguna de las distintas capas pueden ocasionar problemas de superposición que conlleven a cálculos erróneos.

La alta resolución temporal y la metodología de elaboración de los productos MODIS, aseguran, en todas las estaciones del año, una cantidad suficiente de datos para realizar este tipo de análisis.

Si bien el compuesto IVN MODIS resultó útil para generar la aplicación, su resolución espacial (250 metros), limita la inclusión de una gran cantidad de mallines de reducidas dimensiones que influyen en la presentación de la enfermedad pero por su tamaño no pueden ser evaluados con esta herramienta.

La utilización de herramientas de SIG, en contraste con la metodología tradicional de registro y análisis datos, permite definir de forma dinámica rangos ambientales consistentes con los sistemas parásito huésped intermediario, identificar espacialmente ambientes potencialmente aptos, generar modelos y mapas de riesgo utilizando la información disponible, confrontar la información generada con los datos obtenidos de relevamientos a campo y proponer, en base a una visión integral del ambiente, distintas medidas de prevención y control. A su vez la posibilidad de incorporar archivos y registros, generados originalmente con otra finalidad, rescata y revaloriza la información recopilada ampliando las posibilidades de cruces y análisis de la misma.

6. Bibliografía:

Aguilar M., Olaechea F. (2008). Primera descripción de *Fasciola hepatica* al sur del paralelo 48 de latitud sur. En *AAVLD Libro de Resúmenes* (pág. P12).

Andrews S.J. (1999). The life cycle of *Fasciola hepatica*. En *Fasciolosis* (pág. 544). London: CABI International.

Boray, J. C. (1969). Experimental fasciolosis in Australia. *Advance in Parasitology* , 7:95-209.

Bran D., Ayesa J., Lopez C. . (2000). *Regiones Ecológicas de Río Negro*. Informe Técnico INTA EEA Bariloche.

Buono, G., Oesterheld M., Nakamatsu V., Paruelo J. M. . (2010). Spatial and temporal variation of primary production of Patagonian wet meadows. *Journal of Arid Environments*, 74: 1257-1261.

Carpenter T. (2011). The spatial epidemiologic (r)evolution: A look back in time and forward to the future. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology* , 119-124.

CDC. (2010). *Center for Disease Control and Prevention - Fascioliasis*. Obtenido de <http://www.cdc.gov/parasites/fasciola/epi.html>

Cringoli G., Taddei R., Rinaldi L., Veneziano V., Musella V., Cascone C., Sibilo G., Malone J.B. (2004). Use of remote sensing and geographical information systems to identify environmental features that influence the distribution of paramphistomosis in sheep from the southern Italian Apennines . *Veterinary Parasitology* , 122: 15-26 .

FAO (1994). *Disease of domestic animals caused by flukes*. Roma: Food and Agricultural Organisation.

Fuentes M.V., Malone J. B., Mas-Coma S. (2001). Validation of a mapping and prediction model for human fasciolosis transmission in Andean very high altitude endemic areas using remote sensing data. *Acta Tropica* , 79, 87-95.

Hendrickx G., Biesemans J., de Deken R. (2004). The Use of GIS in Veterinary Parasitology. En G. A. Durr P., *Gis and Spatial Analysis in Veterinary Science* (145-176). CABI Publishing.

Hurtrez-Boussès S., Meunier C., Durand P., Renaud F. (2001). Dynamics of host–parasite interactions: the example of population biology of the liver fluke (*Fasciola hepatica*). *Microbes and Infection* , 3, 841–849.

- Kaplan R. M. (2001). Fasciola hepatica: A Review of the Economic. *Veterinary Therapeutics* , Vol. 2, No. 1.
- Kleiman F, Pietrokovsky S, Prepelitchi L, Carbajo A E, Wisnivesky Colli C . (2007). Dynamics of Fasciola hepatica transmission in the Andean Patagonian valleys, Argentina . *Veterinary Parasitology* , 274-286.
- Lopez C., Gaitán J., Ayesa J., Siffredi G., Bran D. (2004). Caracterización y cartografía de valles y mallines del sudoeste de Río Negro. *Inta Comunicacion Tecnica* , 1-25.
- Malone J.B., Gommers R., Hansen J. , Yilma J.M., Slingenberg J., Snijders F., Nachtergaele F., Ataman E. (1998). A geographic information system on the potential distribution and abundance of Fasciola hepática and F. gigantica in east Africa based on Food and Agriculture Organization databases. *Veterinary Parasitology* , 78, 87-101.
- Malone JB, McCarroll JC, Kristensen TK, Yilma JM, Erko B, El-Bahy MM, Corbet JD. (2001a). *MINIMUM MEDICAL DATABASE SPATIAL DECISION SUPPORT SYSTEM*. The Rockefeller Foundation Bellagio Fund and National Institutes of Health.
- Malone JB, Yilma JM, McCarroll JC, Erko B, Mukaratirwa S, Zhou X . (2001b). Satellite climatology and the environmental risk of Schistosoma mansoni in Ethiopia and east Africa. *Acta Tropica* , 59-72.
- Malone, J. (2005). Biology-based mapping of vector-borne parasites by Geographic Information Systems and Remote Sensing. *Parassitologia* , 47:27-50.
- Mera y Sierra R., Agramunt V., Cuervo P., Mas-Coma S. (2011). Human fascioliasis in Argentina: retrospective overview, critical analysis and baseline for future. *Parasites & Vectors* , 4:104.
- Olaechea F, Raffo F, Larroza M, Cabrera R. (2011). Revisión de hallazgos parasitológicos en bovinos en Patagonia realizados en el Laboratorio de Parasitología de la EEA-INTA Bariloche (2005-2010). En *AAPA libro de resúmenes 2011*. AAPA.
- Olaechea F. (1994). Epidemiología y control de la Fasciola hepática en Argentina. En F. C. Nari A., *Enfermedades Parasitarias de Importancia Económica en los Bovinos* (págs. 213-233). Hemisferio Sur.
- Olaechea F. (2004). *Red de Helminología de FAO para América Latina y el Caribe*. Obtenido de Conferencia electrónica: FASCIOLA HEPATICA: <http://cni.inta.gov.ar/helminto/Fasciola/FASCIOLA%20HEPATICA%20Fermin%20Olaechea.pdf>
- Olaechea F. (2007). Trematodes y Cestodes. En *Enfermedades parasitarias de los ovinos y otros rumiantes menores en el cono sur de America* (págs. 159-168). INTA.

- ONCCA. Oficina Nacional de Control Comercial Agropecuario <http://www.oncca.gov.ar>
- Paruelo J.M., Golluscio R.A., Guerschman J.P., Cesa A., Juovet V., Garbulsky M.F. (2004). Regional scale relationships between ecosystem structure and functioning: the case of the Patagonian steppes . *Global Ecology and Biogeography* , 13, 385-395.
- Peña O., Ostertag G., Gandullo R., Campo A. (2008). Comportamiento de la vegetación de un humedal (mallín) entre períodos húmedos y secos mediante análisis hidrológico y espectral. *Investigaciones Geográficas (Esp)* , 45, 229-249.
- Pereira Soares M., Silva da Silva S., Quintana Nizoli L., Rodrigues Felix S., Lucia Schild A. (2007). Chronic fascioliasis in farmed and wild greater rheas (*Rhea americana*). *Veterinary Parasitology* , 145, 168-171.
- Robles C., Olaechea F. (2001). Salud y enfermedades en las majadas. En P. Borelli, & G. Oliva, *Ganadería ovina sustentable en la Patagonia Austral* (págs. 225-243). Prodesar, Inta-GTZ.
- SENASA. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. <http://www.senasa.gov.ar>
- Thrusfield, M. (1990). *Epidemiología Veterinaria*. Editorial Acribia.
- WHO Technical Report Series; 849 . (2011). *Neglected tropical diseases*. Obtenido de Control of Foodborne Trematode Infections - Fascioliasis : http://www.who.int/neglected_diseases/diseases/fascioliasis/en/index.html
- Yilma J.M., Malone J.B. (1998). A geographic information system forecast model for strategic control of fasciolosis in Ethiopia. *Veterinary Parasitology* , 78, 103-127.