

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**



**“DESARROLLO DE UN MODELO ESPACIAL DE RIESGO DE  
INFECCIÓN DE *Fasciola hepatica* EN VACUNOS LECHEROS DE LA  
SIERRA CENTRAL”**

**Presentada por:**

**DAVID JOSE GODOY PADILLA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**Lima - Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**“DESARROLLO DE UN MODELO ESPACIAL DE RIESGO DE INFECCIÓN DE  
*Fasciola hepatica* EN VACUNOS LECHEROS DE LA SIERRA CENTRAL”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER  
SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**DAVID JOSE GODOY PADILLA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Mg.Sc. Jorge Vargas Morán

**PRESIDENTE**

Ph.D. Javier Ñaupari Vásquez

**PATROCINADOR**

Mg.Sc. Daniel Zárate Rendón

**CO-PATROCINADOR**

Mg.Sc. José Almeyda Matías

**MIEMBRO**

Mg.Sc. Segundo Gamarra Carrillo

**MIEMBRO**

## AGRADECIMIENTOS

*En primera instancia agradezco enormemente a mi familia Godoy-Padilla (José, Guadalupe, Katherine y Jenny) por su apoyo incondicional durante toda mi vida.*

*A las familias y productores de los distritos de Matahuasi y Baños por su tiempo y ayuda para que este proyecto de investigación se lleve a cabo. Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec), al Consorcio de Universidades Flamencas de Bélgica (VLIR), a Global Health Initiative de Wabash College, al Laboratorio de Parasitología y al Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la UNALM.*

*A mis patrocinadores, MS Daniel Zárate Rendón y PhD Javier Ñaupari Vásquez por sus consejos y apoyo en el desarrollo de mi tesis.*

*Finalmente agradezco a las siguientes personas por su importante ayuda en la resolución de este proyecto:*

<i>Jorge Cárdenas</i>	<i>Skinner Tacuche</i>
<i>Alberto del Águila</i>	<i>Fermín Cipriano</i>
<i>Andrea Briones</i>	<i>Jimny Núñez</i>
<i>Francis Díaz</i>	<i>Marco García</i>
<i>Enrique Giribaldi</i>	<i>Carlos Pineda</i>
<i>Zoar Macher</i>	<i>Einstein García</i>
<i>Ángel Velazco</i>	<i>Sandra Gonzales</i>
<i>Sofía Zambrano</i>	<i>Miguel Paredes</i>
<i>Richard Ayala</i>	<i>Samuel Pizarro</i>
<i>Mercy Núñez</i>	

# ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Vacunos lecheros del Perú .....	2
1.2	<i>Fasciola hepatica</i> .....	3
1.2.1	Morfología .....	3
1.2.2	Ciclo biológico.....	4
1.2.3	Epidemiología de Fasciolosis bovina .....	6
1.2.4	Signos clínicos del hospedero definitivo .....	14
1.2.5	Diagnóstico de Fasciolosis hepática .....	15
1.2.6	Impacto económico de Fasciolosis hepática.....	18
1.2.7	Prevención y control de Fasciolosis bovina .....	20
1.2.8	Resistencia antihelmíntica .....	22
1.2.9	Zoonosis.....	23
1.3	Sistemas de información geográfica (SIG) .....	25
1.3.1	Modelo de datos de SIG .....	26
1.4	Sensores remotos.....	27
1.4.1	Tipo de sensores remotos.....	29
1.4.2	Satélites y sensores .....	29
1.4.3	Información espectral .....	33
1.5	Integración SIG y sensores remotos para el estudio y desarrollo de modelos de riesgo .....	35
II.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	37
2.1	Áreas de estudio .....	37
2.2	Animales.....	39
2.3	Análisis parasitológico .....	39
2.3.1	Muestreo de heces de vacunos.....	39
2.3.2	Procesamiento de muestras coprológicas en el laboratorio .....	40
2.4	Análisis de variables ambientales y climatológicas .....	42
2.4.1	Análisis de suelo .....	42
2.4.2	Temperatura ambiental mensual.....	43
2.4.3	Precipitaciones mensuales .....	43
2.4.4	Distancias hacia ríos, zonas urbanas y caminos .....	43

2.4.5 Elevación .....	43
2.4.6 Pendiente.....	43
2.4.7 Índices de vegetación y de agua .....	43
2.5 Georreferenciación espacial de la información de muestreo.....	48
2.6 Análisis estadístico .....	48
2.7 Desarrollo de mapas de riesgo de <i>Fasciola hepatica</i> .....	48
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	50
3.1 Epidemiología de Fasciolosis hepática en bovinos .....	50
3.1.1 Prevalencias mensuales (%) .....	50
3.1.2 Cargas parasitarias (HPG) .....	52
3.2 Evaluación de factores ambientales de riesgo de <i>Fasciola hepatica</i> .....	53
3.2.1 Suelo .....	53
3.2.2 Temperatura ambiental mensual (°C) .....	56
3.2.3 Precipitación mensual (mm).....	57
3.2.4 Distancias (m).....	58
3.2.5 Elevación (msnm).....	60
3.2.6 Pendientes (°).....	61
3.2.7 Índices de vegetación.....	62
3.2.8 Índice de agua .....	66
3.3 Relación entre los factores ambientales y climáticos con las prevalencias de <i>Fasciola hepatica</i> .....	68
3.4 Desarrollo de modelo predictivo de Fasciolosis hepática en vacunos lecheros de la sierra central del Perú .....	75
3.4.1 Modelos estadísticos.....	75
3.4.2 Mapas de riesgo .....	80
IV. CONCLUSIONES .....	88
V. RECOMENDACIONES .....	89
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
VII. ANEXOS .....	112

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: División principal del espectro electromagnético .....	28
Tabla 2: Principales satélites y sensores utilizados en ganadería y agricultura.....	32
Tabla 3: Fechas de viajes realizados a las áreas de estudio y número de animales muestreados por fecha y por distrito.....	40
Tabla 4: Fechas de obtención de las imágenes satelitales en Baños y Matahuasi según los meses de muestreo. ....	44
Tabla 5: Categorización del riesgo de <i>Fasciola hepatica</i> para vacunos lecheros en base a las prevalencias encontradas en los distritos de Matahuasi y Baños. ....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de datos tipos ráster y vectorial, representando el mundo real. ....	26
Figura 2: Mapa de la región Huánuco en el mapa del Perú.....	38
Figura 3: Mapa de la región Junín en el mapa del Perú. ....	38
Figura 4: Esquema de procesamiento de imágenes satelitales Landsat 8.....	45
Figura 5: Esquema de procesamiento de imágenes satelitales Sentinel 2. ....	46
Figura 6: Prevalencias mensuales generales y prevalencias mensuales por productor de <i>Fasciola hepatica</i> en vacunos lecheros muestreados en el distrito de Matahuasi (a) y Baños (b). ....	50
Figura 7: Distribución y promedio de cargas parasitarias de <i>Fasciola hepatica</i> (hpg) en vacunos muestreados mensualmente en las zonas de Matahuasi (a) y Baños (b). ....	52
Figura 8: Temperaturas de suelo promedio mensuales (°C) de las áreas de estudio en Matahuasi (a) y Baños (b), y las prevalencias mensuales de <i>Fasciola hepatica</i> (%). ....	55
Figura 9. Valores de humedad del suelo promedio mensuales (%) de las áreas de estudio en Matahuasi (a) y Baños (b), y las prevalencias mensuales <i>Fasciola hepatica</i> (%). ....	56
Figura 10: Temperaturas ambientales promedio mensuales (°C) de las áreas de estudio en Matahuasi (a) y Baños (b), y las prevalencias mensuales <i>Fasciola hepatica</i> (%). ....	57
Figura 11: Precipitación promedio mensual de las áreas de estudio en Matahuasi (a) y Baños (b), y las prevalencias mensuales <i>Fasciola hepatica</i> (%). ....	58
Figura 12: Distancia hacia ríos, caminos y zonas urbanas/por épocas/por productor en las zonas de Baños y Matahuasi, y las prevalencias de <i>F. hepatica</i> (%) /por épocas/por productor.....	59
Figura 13: Datos sobre elevación (msnm) /por época/por productor y las prevalencias de <i>Fasciola hepatica</i> (%) /por época/por productor en Baños y Matahuasi. ....	60
Figura 14: Datos sobre pendientes (°) /por época/por productor y las prevalencias de <i>F. hepatica</i> (%) /por época/por productor en Baños y Matahuasi. ....	61
Figura 15: Prevalencias de <i>Fasciola hepatica</i> (%) /por productor/por época y valores de NDVI/por productor/por época de Matahuasi y Baños extraídos desde imágenes Landsat 8 (a) y desde imágenes Sentinel 2 (b). ....	63
Figura 16: Prevalencias de <i>Fasciola hepatica</i> (%) /por productor/por época y valores de EVI/por productor/por época de Matahuasi y Baños extraídos desde imágenes Landsat 8 (a) y desde imágenes Sentinel 2 (b). ....	65

Figura 17: Prevalencias de <i>Fasciola hepatica</i> (%) /por productor/por época y valores de NDWI/por productor/por época de Matahuasi y Baños extraídos desde imágenes Landsat 8 (a) y desde imágenes Sentinel 2 (b).....	67
Figura 18: Variables independientes predictoras según el orden de su importancia del modelo 1. ....	77
Figura 19: Variables independientes predictoras según el orden de su importancia del modelo 2. ....	77
Figura 20: Mapas de riesgo de ocurrencia de <i>Fasciola hepatica</i> en Matahuasi en épocas de lluvias y épocas de seca del 2016 y 2017. ....	81
Figura 21: Mapas de riesgo de ocurrencia de <i>Fasciola hepatica</i> en Baños en épocas de lluvia y épocas de seca del 2016 y 2017.....	82
Figura 22: Mapas de riesgo de infección de <i>Fasciola hepatica</i> en ganado lechero en época de lluvia (a) y seca (b). Zona de Matahuasi, Concepción, Junín. ....	86
Figura 23: Mapas de riesgo de infección de <i>Fasciola hepatica</i> en ganado lechero en época de lluvia (a) y seca (b). Zona de Baños, Lauricocha, Huánuco. ....	87



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Formato de registro de los animales muestreados por cada productor de las zonas de estudio.....	112
Anexo 2: Formato de ficha técnica para la anotación de los resultados obtenidos del procesamiento de muestras de heces de vacunos para la detección de huevos de <i>Fasciola hepatica</i> mediante la técnica Flukekinder®. ....	113
Anexo 3: Digitalización de las áreas de estudio. Zona de estudio en Baños, Lauricocha, Huánuco (Izquierda). Zona de estudio en Matahuasi, Concepción, Junín (Derecha). .....	114
Anexo 4: Prevalencias mensuales (%) de <i>Fasciola hepatica</i> en vacunos lecheros del distrito de Matahuasi y Baños.....	115
Anexo 5: Humedad del suelo (%) /por productor/época y prevalencias de <i>Fasciola hepatica</i> (%) /por productor/por época en Matahuasi y Baños.....	115
Anexo 6: Temperaturas de suelo (°C) /por productor/época y prevalencias de <i>Fasciola hepatica</i> (%) /por productor/por época en Matahuasi y Baños. ....	116
Anexo 7: Precipitaciones mensuales (mm) /por productor/época y prevalencias de <i>Fasciola hepatica</i> (%) /por productor/por época en Matahuasi y Baños. ....	116
Anexo 8: Temperaturas ambientales mensuales (°C) /por productor/época y prevalencias de <i>Fasciola hepatica</i> (%) /por productor/por época en Matahuasi y Baños .....	117
Anexo 9: Imágenes de las distancias (m) desde zonas de pastoreo hacia ríos, zonas urbanas y caminos en Baños y Matahuasi. ....	118
Anexo 10: Imágenes satelitales de pendientes (°) en Baños y Matahuasi.....	119
Anexo 11: Imágenes satelitales de elevación (msnm) en Baños y Matahuasi. ....	119
Anexo 12: Imágenes satelitales de índices de NDVI extraídos desde imágenes Landsat 8 de Matahuasi y Baños. ....	120
Anexo 13: Imágenes satelitales de índices de NDVI extraídos desde imágenes Sentinel 2 de Matahuasi y Baños. ....	121
Anexo 14: Imágenes satelitales de índices de EVI extraídos desde imágenes Landsat 8 de Matahuasi y Baños. ....	122
Anexo 15: Imágenes satelitales de índices de EVI extraídos desde imágenes Sentinel 2 de Matahuasi y Baños. ....	123
Anexo 16: Imágenes satelitales de índices de NDWI extraídos desde imágenes Landsat 8 de Matahuasi y Baños. ....	124

Anexo 17: Imágenes satelitales de índices de NDWI extraídos desde imágenes Sentinel 2 de Matahuasi y Baños. ....	125
Anexo 18: Información de las prevalencias de <i>Fasciola hepatica</i> (%), la categorización del riesgo y de las variables ambientales en ambos distritos por cada área de pastoreo evaluada por época. *Índices de vegetación y agua obtenidos de imágenes Landsat 8. **Índices de vegetación y agua obtenidos de imágenes Sentinel 2.....	126
Anexo 19: Resultados del modelo estadístico 1 utilizando redes neuronales del software SPSS® Statistics versión 22. ....	128
Anexo 20: Resultados del índice de Kappa y otras medidas asimétricas con respecto al modelo estadístico 1; utilizando el software SPSS® Statistics versión 22. ....	128
Anexo 21: Resultados del modelo estadístico 2 utilizando redes neuronales del software SPSS® Statistics versión 22. ....	129
Anexo 22: Resultados del índice de Kappa y otras medidas asimétricas con respecto al modelo estadístico 2; utilizando el software SPSS® Statistics versión 22. ....	129

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue desarrollar y analizar mapas de riesgo de infección de *Fasciola hepatica* en vacunos lecheros utilizando sistemas de información geográfica (SIG) en los distritos de Matahuasi, Región Junín; y Baños, Región Huánuco. Se colectaron muestras de heces de vacunos para determinar las prevalencias (p) (categorizadas en bajo riesgo  $p \leq 20\%$ , moderado  $21\% \leq p \leq 50\%$ , y alto  $p \geq 51\%$ ) y cargas parasitarias de *F. hepatica* en cada área de estudio durante los meses de lluvia (entre noviembre y marzo) y de seca (entre junio y agosto); 2016 - 2017. Cada área de pastoreo de ocho productores en promedio por cada área de estudio, fue georreferenciada espacialmente para evaluar características del suelo en campo; y estimar variables climáticas (temperatura y precipitación mensual); geográficas (pendientes, elevación, y distancias hacia ríos, zonas urbanas y caminos); e índices de vegetación y agua (índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI; índice de vegetación mejorado, EVI; índice diferencial de agua normalizado, NDWI) a partir de imágenes de sensores remotos y procesadas en SIG. Se utilizaron redes neuronales para la generación de modelos predictivos de riesgo de *F. hepatica* en base a la relación entre variables evaluadas y las prevalencias observadas; y el coeficiente Kappa (k) para seleccionar aquellos modelos que tuvieran mayor concordancia con el riesgo de *F. hepatica* observado ( $k > 0.6$ ). Los resultados revelan que las prevalencias por productor en Matahuasi variaron entre 20% y 100%, y en Baños entre 0% y 87.5%. El modelo predictivo basado en índices de vegetación y agua generados a partir de imágenes del sensor Sentinel 2 fue elegido como el mejor ( $k = 0.77$ ) para el desarrollo de los mapas de riesgo. Las variables ambientales predictoras de mayor importancia fueron la pendiente y el índice de agua (NDWI). Los mapas de riesgo muestran que Matahuasi tiene mayores zonas de alto riesgo tanto en meses secos como de lluvias; mientras que en Baños las zonas de alto riesgo aumentan ligeramente en épocas secas respecto a las épocas de lluvias.

**Palabras clave:** *Fasciola hepatica*, vacunos, SIG, sensores remotos, mapas de riesgo, sierra central

## ABSTRACT

The aim of this work was developing and analyzing risk maps of *Fasciola hepatica* infection in dairy cattle using geographical information system (GIS) in Matahuasi, Junín region; and Baños, Huánuco region. Dairy cattle stool samples were collected to determine the prevalence (p) (categorized in low risk  $p \leq 20\%$ , moderate risk  $21\% \leq p \leq 50\%$ , and high-risk  $p \geq 51\%$ ) and parasite loads of *F. hepatica* in every study area during wet seasons (November - March) and dry seasons (June - August) 2016 - 2017. Grazing areas of eight farmers in average were spatially georeferenced to assess soil characteristics in the field, and to estimate climatic variables (temperature and rainfalls per month), geographic variables (slope, elevation and distances from rivers, urban zones and roads) and vegetation and water indexes (Normalized difference vegetation index, NDVI; Enhanced vegetation index, EVI; normalized difference water index, NDWI), based on remote sensing images and GIS processing. Neural networks were used to generate *F. hepatica* predictive risk models based on the relationship between assessed factors and the observed prevalence; and Kappa coefficient (k) to select the predictive models that have more concordance with the observed risk of *F. hepatica* ( $k \geq 0.6$ ). Results reveal that prevalence per farmer in Matahuasi varied between 20% and 100%, and in Baños between 0% and 87.5%. The predictive model based on vegetation and water indexes generated by Sentinel 2 images was the best model ( $k=0.77$ ) to develop risk maps. The most important predictive environmental factors were slope and water index (NDWI). Risk maps of *F. hepatica* show that Matahuasi has more high-risk areas in wet and dry seasons while in Baños high-risk areas slightly increase in dry seasons compare to wet seasons.

**Key words:** *Fasciola hepatica*, dairy cattle, GIS, remote sensing, risk maps, central highlands.

## I. INTRODUCCIÓN

La ganadería es una actividad de gran importancia para muchos productores de las zonas altoandinas, siendo la producción lechera y cárnica, las principales fuentes de ingreso económico. El Perú cuenta con más de cinco millones de cabezas de ganado vacuno (INEI, 2012), y con un crecimiento de 2.1% y 1.5% anuales en producción lechera y cárnica, respectivamente (MINAGRI, 2015).

Sin embargo, uno de los problemas sanitarios más serios que conlleva a grandes pérdidas económicas son las enfermedades parasitarias, y entre ellas principalmente la fasciolosis hepática. Esta enfermedad, causada por el trematodo parásito *Fasciola hepatica*, se distribuye en muchas regiones de nuestro país, principalmente en la región andina, en donde se reportan altas prevalencias debido principalmente a las condiciones medioambientales que permiten el desarrollo del parásito y de su hospedero intermediario (caracol del género *Lymnaea*).

Con el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y sensores remotos (SR), se pueden identificar y analizar los principales factores de riesgo que predisponen el desarrollo de enfermedades parasitarias influenciadas por factores climáticas y ambientales, y de esta manera determinar aquellas zonas endémicas de alto, moderado y bajo riesgo de *Fasciola hepatica*. Esta información es muy útil para el diseño de programas de control óptimos y sostenibles basados en mapas de riesgo.

El objetivo del presente estudio fue desarrollar y analizar mapas de riesgo para la infección de *Fasciola hepatica* en vacunos lecheros de crianza extensiva; utilizando sistemas de información geográfica (SIG) en los distritos de Matahuasi, región Junín y Baños, región Huánuco. Se plantearon los siguientes objetivos específicos: i) Evaluar la epidemiología de la fasciolosis hepática en dos distritos diferentes de la sierra central del Perú, con especial énfasis en la influencia de factores climáticos y ambientales; y ii) Desarrollar un modelo predictivo para el mapeo de zonas de riesgo de fasciolosis hepática en vacunos lecheros en dos distritos de la Sierra central del Perú.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **1.1 Vacunos lecheros del Perú**

La población de ganado vacuno en el Perú asciende a 5 156 000 cabezas, donde la raza predominante es la criolla, representando un 63.9% del total. Las razas Brown Swiss y Holstein representan el 17.6% y 10.3% del total, respectivamente (INEI, 2012).

La sierra es la región donde se concentra la mayor población de ganado vacuno (73.2%), siendo la raza criolla la que cuenta con mayor número de cabezas en esta zona (71.1%) (INEI, 2012). Así mismo, de los 18 millones de hectáreas de pastos naturales que existen a nivel nacional, la mayor parte se localizan en estas zonas altoandinas (MINAGRI, 2016a). Esta región contiene el mayor número de productores agropecuarios, destacando aquellos pequeños y medianos productores (INEI, 2012).

Para los productores y sus familias, la crianza de vacunos significa una de las principales fuentes de ingreso económico. Con un incremento de 2.9% de la producción de leche cruda del 2015 hacia el 2016 (MINAGRI, 2016b) y con miras al crecimiento de una tasa anual de 5% hasta el año 2021; la actividad ganadera, con mayor énfasis en la producción lechera, está desarrollando un mayor potencial que mejoraría la rentabilidad de los productores (MINAGRI, 2017).

Estas mejoras se ven claramente reflejadas en las regiones de Junín y Huánuco, áreas de estudio del presente trabajo. Junín presentó un incremento de la producción lechera en 4% entre los años 2015 y 2016; mientras que Huánuco mostró 1.5% en ese mismo periodo de tiempo (MINAGRI, 2016b). El distrito de Matahuasi, ubicado en el Valle de Mantaro, y perteneciente a la Provincia de Concepción - Junín, es una de las principales zonas de producción lechera de la región, teniendo una población de 4373 cabezas de ganado vacuno (INEI, 2012).

Por otro lado, el distrito de Baños, provincia de Lauricocha - Huánuco, comercializa quesos hacia la capital de la región y otros sitios aledaños, siendo ésta una de las actividades más importantes en la utilidad neta de los pequeños productores del lugar. Este distrito cuenta con 6429 cabezas de ganado vacuno (INEI, 2012).

Entre los principales problemas sanitarios que afectan a la crianza de vacunos lecheros en la sierra central, las parasitosis suelen ser agentes limitantes que reducen la productividad y el rendimiento de los animales infectados (Bulman, 2012). Entre las enfermedades de mayor relevancia se destaca claramente la fasciolosis bovina o distomatosis hepática, producida por el parásito *Fasciola hepatica* (Chávez *et al.*, 2012; Espinoza *et al.*, 2010).

## **1.2 *Fasciola hepatica***

*Fasciola hepatica* (Alicuya o Distoma) es un parásito hermafrodita perteneciente al grupo de los trematodos. *F. hepatica* presenta un ciclo biológico complejo, ya que ciertos estadios larvarios se desarrollan en el ambiente y otros dentro del hospedero intermediario (caracoles del género *Lymnaea*), para finalmente completar su desarrollo dentro del hospedero definitivo (mamíferos en general) (Kleiman, 2004). Actualmente, este parásito presenta una amplia distribución mundial (Mas-Coma *et al.*, 2008).

### **1.2.1 Morfología**

Cada fase o estadio de *Fasciola hepatica* presenta características anatómicas específicas, que le permiten sobrevivir y culminar el ciclo biológico. Los huevos del trematodo miden entre 130 a 150  $\mu\text{m}$  por 63 a 90  $\mu\text{m}$ . Son de forma elipsoide y de color amarillo con tonos ligeramente pardos a causa de los pigmentos biliares. Presentan una cáscara relativamente delgada, un opérculo y entre numerosas células se encuentra el cigoto de color claro y posición central (Alatoom *et al.*, 2008; Cabra y Herrera, 2007).

El miracidio, larva periciliada que, al finalizar el estado embrionario, sale por el opérculo y nada por el ambiente. Miden aproximadamente 125 a 150 por 25 a 40  $\mu\text{m}$  y presenta una porción anterior ensanchada y una posterior más delgada que representa la cola (Carrada-Bravo, 2007). En el polo anterior se ubica una mancha ocular prominente en forma de “x” y una papila cónica diminuta que le permite perforar la piel del hospedero intermediario (Becerra, 2015).

Los esporocistos tienen forma alargada, con un extremo cónico y el otro redondeado. Miden aproximadamente 550  $\mu\text{m}$ . A partir de las paredes del esporocisto, se forman masas germinativas que dan origen a las redias, que miden de 2 a 3 mm aproximadamente. Las cercarias liberadas del caracol poseen una parte anterior ancha y piriforme que mide de 260 a 320  $\mu\text{m}$  por 200 a 240  $\mu\text{m}$ . La parte posterior está formada por una cola propulsora que mide de 500 a 700  $\mu\text{m}$ . Presentan ventosas y aparato digestivo tal como la fase adulta. Al perder la cola, se desarrolla en metacercaria, la cual tiene una cubierta polimérica de quinonas y otras sustancias mucilaginosas que le permiten adherirse a superficies (Carrada-Bravo, 2007). Miden alrededor de 250 a 300  $\mu\text{m}$  por 200 a 250  $\mu\text{m}$  (Carrada-Bravo, 2007; Páucar, 2008).

La forma juvenil de *Fasciola hepatica* tiene forma de lanceta y mide entre 1 a 2 mm durante la migración al hígado. La fase adulta ubicada en los canalículos biliares posee medidas muy amplias que abarcan desde los 18 a 50 mm de largo por 4 a 14 mm de ancho (Fiel, 2005). Anatómicamente posee un cuerpo aplanado dorso ventralmente de forma foliácea con simetría bilateral y está cubierta por pequeñas espinas (Becerra, 2001). Presenta dos ventosas (oral y ventral) que les permite adherirse sobre el epitelio biliar. Internamente presenta glándulas vitelógenas en la periferia, testículos ramificados a lo largo de la zona ventral, tubo digestivo bifurcado a poca distancia de la ventosa oral; y poro genital y ovarios ubicados muy cerca de la ventosa ventral (Alatoom *et al.*, 2008; Carrada-Bravo, 2007; Cabra y Herrera, 2007).

Por lo tanto, el tiempo que dura desde el momento en que el animal desecha los huevos en las heces al ambiente, hasta el desarrollo del parásito dentro de un nuevo hospedero definitivo como forma adulta, es de 18 a 24 semanas aproximadamente (Kaplan, 2001).

### **1.2.2 Ciclo biológico**

La biología de *Fasciola hepatica* implica un ciclo biológico heteroxeno, donde necesita de un hospedero definitivo (muchos mamíferos, entre ellos: rumiantes, herbívoros silvestres, e incluso el hombre) y de un hospedero intermediario, caracoles *Lymnaea sp.* (Cordero del Campillo, 1999 citado por Ticona *et al.*, 2010).



Una vez que el parásito adulto alcanza su madurez sexual, se autofecunda (hermafroditismo) dentro de los conductos biliares del hospedero definitivo para luego producir alrededor de 20 000 huevos al día; los cuales son llevados por la bilis hacia el intestino y, posteriormente, evacuados junto con la materia fecal. Los huevos en el medio ambiente requieren temperaturas entre 10 a 30°C, más la humedad adecuada. Si el ambiente cumple con estos factores, los huevos eclosionan en aproximadamente 3 a 4 semanas. Los huevos pueden sobrevivir por mucho tiempo de forma latente (Páucar, 2008; Rojas, 2004).

Al eclosionar se desarrollan en miracidios, larvas nadadoras que se encargan de buscar al hospedador intermediario. Éstos solo tienen aproximadamente de 24 a 30 horas para encontrar al caracol; ya que no se alimentan y dependen solamente de las reservas generadas en el estadio anterior. Esta fase larvaria posee geotropismo negativo y fototropismo positivo, características que le ayudan a hallar al caracol apropiado. La penetración ocurre con mayor éxito por la cavidad pulmonar, sin embargo, puede ingresar por otras zonas del cuerpo (manto o pie). Dentro del caracol, el miracidio inyecta el material reproductivo, iniciando una reproducción asexual, formando a los esporocistos. (Prepelitchi, 2009; Rojas, 2004; Andrews, 1999).

Los esporocistos maduros se desarrollan durante las primeras 12 horas del parásito dentro del caracol (Vargas, 2013). Cada esporocisto migrará hacia la hepatopáncreas donde se convertirá en una esfera germinal la cual a través de crecimientos y varias divisiones, dará como resultado la fase de redia (Prepelitchi, 2009). Por cada esporocisto se reproducen de 5 a 8 redias. Las redias maduras rompen la pared del cuerpo del esporocisto y gracias a sus células germinales en el extremo posterior de su cuerpo, pueden desarrollarse en cercarias (Vargas, 2013; Prepelitchi, 2009). En el caso de que las condiciones ambientales no sean propicias, las redias pueden producir una segunda generación, retrasando la producción de cercarias hasta que las condiciones mejoren (Pinheiro *et al.*, 2004).

Cada redia produce entre 15 a 20 cercarias. Éstas luego de uno o dos meses de acuerdo a la temperatura, abandonan la redia a través de un poro genital y van avanzando a través de los tejidos del caracol para poder salir. Estos procesos dentro del caracol duran aproximadamente entre 8 a 12 semanas (Olaechea, 2004). Ya en el medio, las cercarias, gracias a su flagelo, pueden movilizarse en búsqueda de superficies donde puedan adherirse, tales como plantas acuáticas o pasturas, donde se enquistan produciendo metacercarias,

estadio moderadamente resistente a los cambios ambientales (Becerra, 2001; Valderrama, 2016).

Las metacercarias constituyen la forma infectiva para los hospederos definitivos. El enquistamiento dura aproximadamente 15 minutos, y es la cubierta quística la que le permite sobrevivir a temperaturas bajas, pero no a temperaturas altas mayores a los 30°C y la desecación. En condiciones favorables puede sobrevivir entre 9 y 11 meses (Páucar, 2008; Kleiman, 2004; Fiel, 2005; Rojas, 2004).

Los hospederos definitivos ingieren a la metacercaria junto con los pastos o plantas, o al beber agua contaminada. Dentro del organismo se desenquistan en el tubo digestivo y al llegar al intestino delgado se transforman en parásitos juveniles que atraviesan la pared intestinal y por vía intraperitoneal se dirigen al hígado (Fiel, 2005). En ese lugar atraviesan la cápsula de Glisson y penetran en el tejido hepático, para finalmente llegar a los canalículos biliares. En los canalículos inician la puesta de huevos, completando el ciclo biológico (Kleiman, 2004; Carrada-Bravo, 2007).

### **1.2.3 Epidemiología de Fasciolosis bovina**

#### **a. Factor parásito**

La distomatosis hepática, causada por *Fasciola hepatica*, es una de las enfermedades más importantes en la ganadería, especialmente en ganado ovino y vacuno. La enfermedad ha sido reportada en distintos lugares del mundo, abarcando Norte América, Europa, Asia, África, Oceanía y Sudamérica (Khosravi y Babaahmady, 2012).

Según Mas-Coma *et al.* (2005), la incidencia a nivel mundial de fasciolosis en vacunos es más de 300 millones de cabezas, causando una pérdida económica estimada por encima de los tres billones de dólares por año según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). Por otro lado, la fasciolosis hepática es una enfermedad zoonótica. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estimado que 2.4 millones de personas a nivel mundial están infectadas con *Fasciola hepatica* y otros 180 millones están en riesgo de infección (Becerra, 2001).

Las causas principales de la amplia distribución mundial de *Fasciola hepatica* son: la alta capacidad de colonización de su hospedero intermediario (caracoles del género *Lymnaea*) y la gran adaptabilidad a la mayoría de las regiones (Mas-Coma *et al.*, 2008). Así mismo, cada parásito adulto puede llegar a producir entre 10 000 y 20 000 huevos por día, otorgándole esto un enorme potencial biótico reproductivo. (Espinoza *et al.*, 2010; Carrada-Bravo, 2007; Fiel, 2005; Olaechea, 2004).

Por otro lado, las características propias del parásito frente al medioambiente, también le permiten desarrollarse en distintas zonas. Las fases larvarias que se desarrollan en el ambiente pueden ser viables dentro de un rango de temperatura desde 10°C hasta los 30°C. Según Rojas (2004), temperaturas por debajo de los 10°C, no permiten la supervivencia de *F. hepatica*, y el parásito entra a una diapausa (periodo de latencia). Sin embargo, se han reportado casos en zonas de bajas temperaturas como es el altiplano de Bolivia a más de 3800 msnm, demostrando la capacidad de adaptación del parásito (Fuentes *et al.*, 2001).

Por otro lado, la fase larvaria metacercaria, gracias a su cubierta quística, puede sobrevivir de 9 a 11 meses, mejor aún en lugares húmedos y con una temperatura dentro del rango mencionado anteriormente (Rojas, 2004; Selemetas *et al.*, 2015a).

## **b. Factor hospedero**

### **• Hospedero intermediario**

La adaptación y supervivencia del hospedero intermediario (caracoles del género *Lymnaea*) son factores determinantes en la ocurrencia y transmisión de la enfermedad parasitaria. Los caracoles tienden a estar presentes año tras año en el mismo hábitat y los tiempos de las generaciones de poblaciones son relativamente largos. Debido a que tiene una reproducción asexual, el molusco puede multiplicarse ampliamente (Yilma y Malone, 1998).

Estos caracoles poseen conchas cónicas y puntiagudas, con giros enrollados en forma de espiral, son dextrógiros, tienen un solo par de tentáculos sensoriales planos y triangulares en la cabeza y un ojo en la base de cada tentáculo (Giraldo-Pinzón y Álvarez-Mejía, 2013). Los tamaños de estos moluscos varían de acuerdo a la especie,

pero se encuentran en un rango de 5 a 8 mm de longitud y 3 a 7 mm de ancho. Son todos pulmonados, con un espacio dentro de su caparazón el cual está forrado de una membrana vascularizada que le permite el intercambio de gas. Éstos tienden a mantener burbujas de aire dentro de sus conchas y de vez en cuando renovarlas en la superficie del agua (Cabra y Herrera, 2007; Brown *et al.*, 2001).

Tanto las características morfológicas y anatómicas sirven para la identificación de los individuos de la familia Lymnaeidae. La forma y tamaño de la conchilla, el órgano renal, el sistema reproductor masculino y femenino, son algunos aspectos evaluados (Prepelitchi, 2009; Brown *et al.*, 2001).

Se alimentan básicamente de detritos vegetales, algas filamentosas y materia orgánica gracias a sus grandes dientes en su rádula que usan para raspar el alimento. Al ser hermafroditas, pueden autofecundarse y poner huevos en masas. Los factores abióticos como la temperatura y precipitaciones juegan un rol importante en la tasa de crecimiento, edad de maduración sexual y la fecundidad de los caracoles limneidos (Prepelitchi, 2009).

Estos caracoles viven en zonas húmedas, poco profundas y de fácil estancamiento, como zonas pantanosas, pequeños charcos, orillas de arroyos e incluso en las huellas que dejan los animales en el suelo después de las lluvias. Así mismo, zonas con vegetación como musgos, juncáceas, berros de agua, poáceas e incluso alfalfas pueden considerarse como hábitats para estos moluscos (Giraldo-Pinzón y Álvarez-Mejía, 2013). En condiciones no favorables (temperaturas muy bajas o época de sequía) los caracoles tienden a disminuir su actividad metabólica, lo cual le permite sobrevivir varios meses hasta que las condiciones mejoren y puedan reaparecer (Fiel, 2005; Páucar, 2008).

Los caracoles que contribuyen como hospedero intermediario para *Fasciola hepatica* se distinguen de acuerdo a su distribución en el mundo. En Europa, por ejemplo, los transmisores son *Galba truncatula*, *Pseudosuccinea columella*, *Lymnaea stagnalis* y *Lymnaea glabra*. En África destacan *Lymnaea rufescens* y *Lymnaea natalensis*; en Australia, *Lymnaea tomentosa* y en Latinoamérica, *Galba truncatula*, *Lymnaea*

*viatrix*, *Lymnaea bogotensis*, *Lymnaea ubaquensis* y *Pseudosuccinea columella* (Vignoles *et al.*, 2016; Ayele, 2016; Bargues *et al.*, 2011).

En nuestro país, según Larrea *et al.* (2007), las dos principales especies de caracoles del género *Lymnaea* son *L. columella* y *L. viatrix*. En su estudio, demostró la viabilidad de infección de estos caracoles con estadios larvales de *Fasciola hepatica*; obteniendo índices de infección natural y experimental de 12% y 28% en *Lymnaea columella*, y del 27% y 70% en *Lymnaea viatrix*, respectivamente. Por su parte, Londoño *et al.* (2009), encontró caracoles del género *Lymnaea viatrix* y *Pseudosuccinea columella* infectados naturalmente con formas larvarias de *Fasciola hepatica* entre los 4000 y 4500 msnm en zonas altoandinas, destacando la gran adaptabilidad del hospedero intermediario y de las fases larvarias en esas zonas.

En conjunto, podemos señalar que tanto el parásito como el hospedero intermediario, han sido capaces de colonizarse exitosamente en distintas condiciones gracias a la capacidad de desarrollar diferentes estrategias de adaptación que les permiten obtener altos rangos de transmisión (Mas-Coma *et al.*, 1999).

Esta relación parásito-caracol puede ser incluido en el concepto de “Nidaciones naturales” de Pavlosky (1966), la cual describe la relación única entre la enfermedad transmitida por vectores y su huésped, que en conjunto forman un ecosistema en una ubicación geofísica del paisaje (Valencia - López *et al.*, 2012).

- **Hospedero definitivo**

La fasciolosis hepática puede desarrollarse en diferentes hospederos definitivos. Entre los poligástricos tenemos a los ovinos, vacunos, camélidos sudamericanos, caprinos y mamíferos silvestres como venados. Por parte de los monogástricos, se ha reportado en caninos, cuyes, conejos, equinos y en el hombre (Chávez *et al.*, 2012; Espinoza *et al.*, 2010).

La capacidad de respuesta del hospedero hacia los parásitos tiene relación a diversos factores: edad de los animales afectados, especie, estado nutricional, estado

fisiológico, tratamientos antiparasitarios, efecto inmunosupresor del parásito y enfermedades intercurrentes (Othaix, 2014).

Las prevalencias de *Fasciola hepatica* reportadas en ganado vacuno han sido variables y han ido cambiando durante los últimos años. En Suiza en el año 2006 se reportó una prevalencia de 18% más alta en comparación a años previos (Charlier *et al.*, 2014). En Inglaterra, la prevalencia de infección en ganado vacuno lechero fue de 48% en el 2003, comparado con 72% en el 2006, concluyendo un incremento de animales infectados con el tiempo (McCann *et al.*, 2010).

En otros países europeos también se han registrado prevalencias de moderadas a altas de fasciolosis bovina. 65% de prevalencia en ganado vacuno en España (Arias *et al.*, 2010); mientras que Schweizer *et al.* (2005) encontraron en Suiza una prevalencia mayor al 16%. En Irlanda se observó que aproximadamente el 65% de vacunos de carne y de leche encontrados en el camal estaban infectados de *F. hepatica* (Murphy *et al.*, 2006); mientras que Bloemhoff *et al.* (2012) encontraron que el 75% de vacunos lecheros en noviembre del 2009 presentaban *Fasciola hepatica*.

No sólo en países europeos se reportan fasciolosis hepática en vacunos. En Irán la prevalencia de fasciolosis en vacunos en el periodo de 1985 – 2004 fue de 17.8% (Khosravi y Babaahmady, 2012). En los Estados Unidos de Norteamérica, la infección por *Fasciola hepatica* en ganado bovino se expandió por estados como Florida, Hawái, Oklahoma, Nebraska, Kansas, entre otros (Briskey *et al.*, 1994). Por ejemplo, se reportó que la tasa de infección de vacunos de carne en California y Florida fue de 53% y 68%, respectivamente (Alatoom *et al.*, 2008). Así mismo, en los camales, a nivel nacional, se han reportado que el 24.1% de vacas y toros americanos presentaban el parásito durante el beneficio (McClanahan, 2012).

En Latinoamérica las cifras son también altas. En Brasil, Das Chagas-Bernardo *et al.* (2011), sostienen que la frecuencia del decomiso de hígados debido a *Fasciola hepatica* fue 15.24% en 2006; 23.93% en 2007; 28.57% en 2008 y 28.24% en 2009. Al sur de ese país también se ha reportado una prevalencia de 24.89% en vacunos, siendo esa zona considerada endémica para fasciolosis bovina (Das Chagas-Bernardo *et al.*, 2011). Mientras que en México, Rangel y Martínez (1994) encontraron que 44

447 hígados fueron decomisados entre 1988 y 1989 en un matadero. En Antioquia, Departamento de Colombia, se encontró una prevalencia de 21.6% de distomatosis hepática en vacunos dentro de varios distritos de la zona (Valencia-López *et al.*, 2012). Por otro lado, en el altiplano norte, entre Bolivia y Perú, las prevalencias han sido tan altas que ha sido considerado como una zona hiperendémica de fasciolosis tanto para animales como para humanos (Fuentes, 2004).

Se han realizado muchos trabajos de investigación sobre la prevalencia de fasciolosis hepática en bovinos en nuestro país. Valencia *et al.* (2005) encontraron una prevalencia de fasciolosis hepática del ganado bovino de 23.1% en Huancavelica; en Uchumayo, Arequipa, se encontró 68.2% de vacunos infectados (Ayaqui-Miranda, 2000). Ticona *et al.* (2010) encontraron 35.6% de prevalencia en Ayacucho y Raymundo *et al.* (2004) encontraron en el valle del Mantaro una prevalencia en ganado vacuno de 75% mediante el uso de pruebas coprológicas.

Otros reportes en el país señalan la presencia de la enfermedad con prevalencias moderadas a elevadas en vacunos; así, 10% en Pasco, 22% en Huánuco, 39% en Junín, 43% en Huancavelica (Manrique y Cuadros, 2002) y 10% en Oxapampa (Páucar *et al.*, 2010). Chávez *et al.* (2012) encontraron una prevalencia de 38.2% en Jauja, con una carga parasitaria promedio de 16 HPG (huevos por gramo de heces).

### **c. Factor ambiente**

Después de muchos estudios realizados sobre el ciclo biológico y la epidemiología de *Fasciola hepatica*; se ha concluido que los factores de mayor importancia en la viabilidad y desarrollo del parásito son las variables climáticas y ambientales. Según Howell *et al.* (2015), estas variables explicarían un 70%-76% de la variación de la infección de *Fasciola hepatica* en diversos sectores.

#### **• Variables climáticas**

Los factores climáticos como la precipitación y temperatura juegan un rol importante en la presencia de humedad, el desarrollo de pasturas y bofedales, afloramientos de agua y acequias (Amato *et al.*, 1986; Rojas, 2004; Vilhena *et al.*, 2012). Estas

condiciones ambientales son favorables para la supervivencia y el desarrollo de *Fasciola hepatica*.

Las temperaturas afectan la tasa de desarrollo de los estadios larvarios libres en el ambiente y del hospedero intermediario, siendo 10°C temperatura media diurna y nocturna más apropiada. Si la temperatura supera los 15°C, la multiplicación del parásito y del caracol mejorará significativamente (Olsen *et al.*, 2015; Ayele, 2016).

Por otro lado, las precipitaciones predisponen la existencia de regímenes de humedad ideales para los caracoles y el desarrollo de *Fasciola hepatica*, siempre y cuando, las precipitaciones excedan la transpiración y se alcance la saturación del campo (Ayele, 2016).

De este modo, la temperatura y humedad del suelo son particularmente importantes en la determinación de los patrones de infección estacional debido a sus efectos propicios o adversos sobre el desarrollo larvario dentro del caracol, fases larvianas en el ambiente y sobre la actividad de los caracoles (Amato *et al.*, 1986).

Estudios previos indican que la temperatura del aire, las precipitaciones y la evapotranspiración potencial están relacionadas con la exposición a la fasciolosis. Por ello, son considerados como factores de predicción. Sin embargo, estos factores climáticos variarían marcadamente debido a la altitud y latitud de la zona de estudio (Martínez-Valladares *et al.*, 2013).

En regiones como el de nuestro país, estos factores climáticos son decisivos, y el aumento de sequías o inundaciones asociadas con alteraciones climáticas como el fenómeno del Niño, pueden dar lugar a nuevos brotes de fasciolosis hepática (Mas-Coma *et al.*, 2008).

Por otro lado, se ha predicho que el calentamiento global alteraría las distribuciones geográficas de muchas especies de trematodos, como *F. hepatica*. Algunos autores sugieren un escenario común en donde las temperaturas incrementarían y podrían aumentar las fases larvianas, acelerando su producción y desencadenando la aparición de los caracoles (Mas-Coma *et al.*, 2001; Mas-Coma *et al.*, 2008). Esto conllevaría a



un incremento de las zonas de riesgo de infección, mayores animales parasitados, y un aumento de las pérdidas económicas en la producción animal.

- **VARIABLES AMBIENTALES Y DE MANEJO**

Otros factores como las prácticas de manejo de pastizales, el pastoreo, el tipo de ganado, composición del suelo y el tipo de pisos altitudinales también son de gran importancia para entender la epidemiológica de esta enfermedad. Por ejemplo, se ha encontrado que metacercarias pueden sobrevivir hasta 3 meses después de la cosecha de heno en zonas altamente endémicas que son consumidos por el ganado en épocas de escasez de pasturas (Njau y Scholtens, 1991 citado por Yilma y Malone, 1998). De igual forma, se ha observado la presencia de fasciolosis a gran altitud (3500-4200 msnm) en las zonas altoandinas de Bolivia y Perú (Fuentes *et al.*, 2001).

Según Ticona *et al.* (2010), la altitud en regiones como nuestro país es un factor de riesgo importante para la infección por *F. hepatica*. Sostiene que, en zonas bajas a los 3000 msnm, donde las pendientes son marcadas, con suelos áridos y poca presencia de bofedales, el desarrollo del parásito y su hospedero intermediario es menos probable, incluso en épocas de lluvia. Por el contrario, aquellas zonas de mayor altitud (mayores a los 3000 msnm) pueden presentar condiciones más favorables para el desarrollo y supervivencia del parásito, al presentar terrenos de menor pendiente, mayor cantidad de bofedales y afluentes de agua. Sin embargo, en zonas bajas (desde 1000 a 2500 msnm) como en países europeos, también se evidencian zonas con transmisión de fasciolosis, pero estas evidencias están más relacionadas a otros factores medioambientales y climáticos (Mas-Coma *et al.*, 2001).

Las características del suelo también podrían influenciar el desarrollo de la enfermedad. Aquellos suelos con rangos de pH entre 4.2 a 9 permiten la incubación de los huevos de *Fasciola hepatica* a una temperatura adecuada. La incubación se prolonga cuando el pH excede de 8.0 (Ayele, 2016). Así mismo, Selemetas *et al.* (2014) encontró que aquellos rebaños que pastoreaban en suelos mal drenados, fueron más expuestos a la infección de fasciolosis hepática que aquellos que

pastoreaban en suelos bien drenados; destacando el papel del drenaje en la transmisión de esta enfermedad (Charlier *et al.*, 2014).

El manejo de pasturas para la alimentación del ganado también influye en la exposición a la fasciolosis. La alimentación de ganado al pastoreo, la presencia de rotación de pasturas, la realización de irrigaciones de pastos y cultivos, el tiempo de duración del pastoreo de acuerdo a la estación, la proporción de pastos en la dieta y la alimentación de pastos al corte, juegan un importante rol en la prevalencia o ausencia de la infección con *Fasciola hepatica* (Benema *et al.*, 2010; Nzalawahe *et al.*, 2014).

#### **1.2.4 Signos clínicos del hospedero definitivo**

El cuadro clínico de la fasciolosis hepática se puede presentar de forma aguda o crónica (Rojas, 2004). La forma aguda es consecuencia del pasaje de los estadios juveniles a través del parénquima hepático, causando daño mecánico y hemorragias en el hígado. El ingreso masivo de los parásitos puede conllevar a la muerte súbita con evidencia de secreciones de líquido sanguinolento por las fosas nasales y el ano; aunque mayormente no se presentan signos. Esto ocurre mayormente en ganado ovino y caprino (Fiel, 2005). Si el animal sobrevive a la fase de migración hepática, los signos clínicos que se observan son depresión, debilidad, anorexia, palidez, hipoproteinemia, edema submandibular, disnea, dolores abdominales y edemas de las mucosas y conjuntiva (Becerra, 2001; Pulido *et al.*, 2010; Olaechea, 2004).

La forma crónica ocurre cuando las formas adultas del parásito están localizadas en los conductos biliares y empiezan a expresar su comportamiento hematófago, ocasionando colangitis, obstrucción biliar y fibrosis hepática. En vacunos se produce una calcificación de los conductos biliares, conllevando a una pérdida de proteínas plasmáticas a través del epitelio biliar. Las manifestaciones clínicas son depresión, ascitis, anorexia, pérdidas de peso, disminución en la producción, anemia, diarreas, palidez de las mucosas, hipoproteinemia y edema submandibular (Pulido *et al.*, 2010). Los vacunos normalmente son asociados a este cuadro, aunque si las zonas están muy contaminadas, también pueden presentar formas agudas. Comúnmente, en vacunos, los signos pueden pasar desapercibidos, siendo la baja productividad el único indicador de la enfermedad (Rojas, 2004).

Las lesiones y evidencias que se pueden encontrar en hígados de animales infectados son: atrofia de los lóbulos hepáticos y aumento de la consistencia del hígado. Además, engrosamiento, calcificación, material mucoso y presencia de formas adultas en los canalículos biliares. En términos histológicos, se observa colangiohepatitis necrótica con depósitos cálcicos distróficos e hiperplasia de canalículos biliares (Alpízar *et al.*, 2013).

Los caballos y cerdos tienen una alta resistencia al parásito. En contraste, los ovinos y caprinos pertenecen al grupo de los más susceptibles a la enfermedad. Tanto el hombre como el conejo y los vacunos poseen una resistencia moderada (Olaechea, 2004). Se considera que los bovinos muestran una respuesta inmune protectora con una resistencia parcial adquirida al parásito después de los 5 meses post infección inicial. Así mismo, si no hay reinfección, los vacunos pueden eliminar los parásitos en 30 semanas post infección (Pulido *et al.*, 2010).

### **1.2.5 Diagnóstico de Fasciolosis hepática**

A lo largo de los años, se han implementado muchos procedimientos para el diagnóstico de fasciolosis hepática en bovinos a nivel mundial, debido a que un análisis previo, durante y posterior a la infección en animales susceptibles ayuda mucho en el seguimiento y evaluación de la enfermedad en una zona determinada (Rojas, 2004).

Realizar un diagnóstico clínico es importante para poder analizar los antecedentes de la enfermedad en un lugar específico (Cardozo, 2003). En la necropsia, también se puede realizar un diagnóstico *post mortem* para brindar información sobre el grado de infección de *Fasciola hepatica* (Briskey *et al.*, 1994). La observación de lesiones como hemorragias en el parénquima hepática, hematomas subcapsulares, congestión venosa y peritonitis fibrosa, se puede considerar como una forma aguda. Si se observa fibrosis hepática, colangitis, ganglios linfáticos agrandados, canales biliares engrosados con depósitos calcáreos y presencia de parásitos adultos, podemos considerarla como forma crónica.

Los métodos y técnicas de laboratorio para el diagnóstico de fasciolosis hepática en bovinos datan desde muchos años atrás. Con el desarrollo de nuevas tecnologías y el avance científico, estas pruebas han mejorado para lograr un diagnóstico efectivo y correcto de la fasciolosis bovina (Aguirre *et al.*, 1998).

Las técnicas clásicas utilizadas en laboratorio son aquellas que tienen como objetivo la detección y/o conteo de huevos de *Fasciola hepatica* en muestras fecales. Un ejemplo de éstas son las técnicas de flotación, que están basadas en la separación de los huevos de la materia fecal, y concentrarlos por medio de un líquido de flotación con una gravedad específica apropiada (Hansen y Perry, 1994). Técnicas como McMaster modificado y FLOTAC® toman este principio para la detección de huevos en diferentes especies animales; pero debido a que estos huevos son muy pesados, se necesitan soluciones de flotación no convencionales, tales como cloruro de zinc o yodo mercurato de potasio, ya que en soluciones comunes no flotarían (Zajac y Conboy, 2012). Se han reportado que estas técnicas pueden ser útiles en los diagnósticos de animales con cargas muy altas (Aguirre *et al.*, 1998; Duthaler *et al.*, 2010).

Otras pruebas coprológicas son las técnicas de sedimentación, las cuales se basan en la obtención de sedimentos donde se encuentran los huevos de *F. hepatica* a través de diversos procedimientos. Métodos como el de Dennis modificado, sedimentaciones simples, técnicas de sedimentación espontánea, método de Kato Katz, técnicas de sedimentación rápida, técnica de Foreyt, Método de Concentración Éter-Formol y sedimentación rápida modificada por Lumbreras, son algunas técnicas típicas que se usan en los laboratorios (Maco *et al.*, 2002; Chávez *et al.*, 2012). Entre las mencionadas, la prueba de Dennis modificado es una de las más utilizadas para el diagnóstico de distomatosis hepática debido a su bajo costo y a su efectividad (73.2% de sensibilidad) (Correa *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2014); sin embargo, Álvarez y Boyaca (2009) sostiene lo contrario, al comparar los resultados de esta prueba con el hallazgo de los parásitos adultos en el hígado de los animales infectados en el camal.

Por otro lado, las pruebas serológicas actualmente son muy utilizadas para la evaluación de la respuesta inmune de animales vivos e inferir la infección actual o la exposición previa al parásito (Álvarez *et al.*, 2014). Estas pruebas se basan en la detección de anticuerpos específicos contra antígenos del parásito en el suero de animales infectados. Métodos como la inmunoelectroforesis (Western blot y Arco 2, como ejemplos), reacción de precipitación, inmunofluorescencia, hemoaglutinación, y en especial, el ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas “ELISA” (siglas en inglés) son utilizadas para llevar a cabo el diagnóstico de distomatosis hepática en múltiples especies (Charlier *et al.*, 2014).

Es así, que la técnica de ELISA es actualmente la más utilizada para el diagnóstico de fasciolosis usando antígenos de excreción – secreción, cisteína proteasas, antígenos de tegumentos, somáticos, antígenos recombinantes, y los coproantígenos. Pruebas comerciales como ELISA Bio X diagnostics®, Fas2-ELISA, Svanovir®F, y FasciDIG®, han sido probados utilizando muestras inmunológicas y serológicas. En algunos trabajos, señalan que la sensibilidad y especificidad de estas pruebas son de 96.5% y 92.2%, respectivamente, considerándolo un diagnóstico muy preciso y eficaz (Cornejo *et al.*, 2010; Espinoza *et al.*, 2007; Colona *et al.*, 2001; Charlier *et al.*, 2014; Maco *et al.*, 2002).

Por otro lado, las pruebas moleculares también están siendo utilizadas últimamente como diagnóstico. Éstas se basan en el fundamento de detectar el genoma del parásito a través de técnicas como la amplificación aleatoria de ADN polimórfico (RAPDS siglas en inglés) en PCR (Correa *et al.*, 2016). Esta prueba puede desarrollarse mediante la extracción de ADN de los huevos de *Fasciola hepatica*. Según Martínez-Pérez *et al.* (2012), la tecnología PCR podría ser útil para detectar infecciones durante las primeras dos semanas post-infección, ya que posee una gran sensibilidad y especificidad.

Las ventajas y desventajas de los métodos de diagnóstico en general son muy discutibles (Charlier *et al.*, 2014). Las pruebas serológicas y moleculares tienen altos valores de sensibilidad y especificidad a comparación de las pruebas coproparasitológicas; es decir, son más confiables. Además, pueden detectar infecciones en los animales desde el estado prepatente (primeras semanas donde los parásitos juveniles están migrando dentro del organismo); mientras que las pruebas coprológicas solo diagnostican la fase crónica de la infección, es decir, cuando el parásito ha alcanzado la madurez sexual y produce huevos que pueden ser detectados en estas pruebas, más o menos, dos a tres meses post infección (Duthaler *et al.*, 2010; Kleiman *et al.*, 2005; Briskey *et al.*, 1994).

Sin embargo, una limitación de estas pruebas serológicas sería que no distinguen si los resultados de diagnóstico en los animales son de una infección actual o de una infección anterior, pudiendo dar un diagnóstico erróneo. Así mismo, otra desventaja sería que son técnicas muy costosas y requieren una adecuada implementación de los laboratorios (Espinoza *et al.*, 2010).

En contraste, las técnicas coprológicas tienden a ser de bajo costo y fáciles de aplicar. El detalle con los diagnósticos coprológicos es que sólo detectarían infecciones de *Fasciola hepatica* entre altas y moderadas, mas no aquellas de baja intensidad. La desventaja frente a las pruebas serológicas, como se dijo anteriormente, es que las coprológicas son de baja sensibilidad (30% - 70%). Una solución podría ser el muestreo y procesamiento repetitivo o el análisis de 530 gramos de heces para aumentar la sensibilidad del diagnóstico (Rapsch *et al.*, 2006). Considerando esta revisión y la disponibilidad de recursos, se optó por utilizar una prueba coprológica de filtración.

#### **a. Técnicas de filtración**

Estas técnicas están basadas en la utilización de ciertos números de tamices con diferentes tamaños de diámetros, que tienen la finalidad de retener desechos fecales de mayor tamaño y poder capturar los huevos de *Fasciola hepatica* en una muestra más clara y de fácil visualización. Este principio es usado en técnicas como Girao y Ueno. Boray y Pearson, técnica de cuatro tamices, el kit Flukefinder®, entre otros (Dorchies, 2007). Entre los mencionados, el método de tamizado Girao y Ueno presentó mejores resultados en la detección de huevos que la técnica de sedimentación de Shore García (Kleiman *et al.*, 2005).

Cabe mencionar que estas técnicas de filtración pueden ser complementadas con las de sedimentación, siendo la técnica de Flukefinder®, un ejemplo de ello. Existen diversas referencias sobre el uso de esta prueba utilizado en evaluaciones de distomatosis hepática en vacunos (Nzalawahe *et al.*, 2014; Howell *et al.*, 2012) y humanos (El-Bahy, 2014).

### **1.2.6 Impacto económico de Fasciolosis hepática**

Los costos directos de la fasciolosis bovina resultan del incremento de la mortalidad, costo de tratamiento y el decomiso de los hígados en los centros de beneficio; mientras que los indirectos se relacionan a los desórdenes reproductivos y baja en la producción (Kaplan, 1995; Mas-Coma *et al.*, 2009; Rokni *et al.*, 2010).

Diversos trabajos se han realizado para cuantificar el efecto de la parasitosis en la productividad ganadera. Charlier *et al.* (2009) observaron una reducción media marginal

significativa en el peso de carcasa de 0.7% (3.4 kg) en ganado vacuno infectado en Bélgica. Además, se ha reportado, en ese mismo país, una reducción promedio del rendimiento de la leche de 0.7 kg /vaca/día (3%) (Charlier *et al.*, 2007). Por su parte, Mezo *et al.* (2011) reportaron una reducción del rendimiento lechero en vacas de 1.5 kg/vaca/día (5%) en animales con altas cargas parasitarias. También se ha demostrado que la fasciolosis hepática provoca una reducción del 10% de la producción lechera, una reducción del 9% de la ganancia de peso, una extensión del periodo de servicios por 13 días y un incremento de 0.75 servicios por concepción (Schweizer *et al.*, 2005).

López-Díaz *et al.* (1998) mediante una infección experimental de *Fasciola hepatica* en ganado vacuno, encontraron que el estro se retrasó por 39 días en vacas. Este efecto estuvo relacionado a concentraciones significativamente superiores de estradiol y bajos en progesterona en suero de animales infectados. En contraste, Loyacano *et al.* (2002) no encontraron significancia de animales infectados con el retraso del estro, pero si en la tasa de preñez, donde los animales tratados con antiparasitarios tuvieron mejores tasas que aquellos sin tratamiento (67% vs 54%, respectivamente).

Todas estas bajas en la producción animal se traducen en pérdidas monetarias para los productores y la actividad ganadera en general. En el Reino Unido, se han reportado pérdidas anuales promedio de 36,2 millones de dólares americanos en la industria ganadera (Bennett e Ijpelaar, 2003). Schweizer *et al.*, (2005) estimaron en Suiza una pérdida anual promedio de 52 millones de euros, lo que representa una pérdida media de 299 euros por animal infectado. En el norte de Bélgica, el costo anual de las infecciones por *Fasciola hepatica* en el ganado lechero fue de 8.2 millones de euros, lo que equivale a 30 euros por vaca adulta presente en la población (Charlier *et al.*, 2009).

Por su parte, en Egipto las pérdidas económicas totales en base al decomiso de hígados y la pérdida de peso de carcasas durante tres años de estudio fueron estimadas en alrededor de 16 800 dólares americanos (Elmonir *et al.*, 2015). En Cuba, la fasciolosis bovina causó el 35% de las pérdidas en el ganado vacuno adulto y la pérdida por decomiso de hígados llega a ser del 70% (Godoy *et al.*, 2010).

En el Perú, el impacto económico negativo ha sido estimado aproximadamente en 50 millones de dólares americanos por año, debido a las pérdidas en los decomisos de hígados, los costos asociados como los tratamientos, la baja ganancia de peso de los animales, la reducción en la fertilidad y en la productividad (Espinoza *et al.*, 2010).

### **1.2.7 Prevención y control de Fasciolosis bovina**

Se pueden establecer varios métodos y programas para el control de la fasciolosis bovina, ya que su erradicación parece ser muy improbable. Debido al ciclo biológico complejo que posee *Fasciola hepatica*, el control puede llevarse a cabo sobre los estadios libres del parásito, sobre el hospedero intermediario y sobre el parásito dentro del hospedero definitivo.

Si hablamos del control de los estadios libres, básicamente se trataría de la rotación de potreros y del aislamiento de las zonas húmedas y pantanosas donde habitan los caracoles limneidos, para que el ganado no pastoree esas áreas y, de este modo, evitar la ingestión de metacercarias y la continuación del ciclo del parásito.

El control del hospedero intermediario consiste en la reducción de la población de limneidos y poder frenar la alta capacidad de reproducción que tienen. Los métodos de control pueden ser físicos, químicos y biológicos (Fiel, 2005; Espinoza *et al.*, 2010). Los métodos físicos se basan en el mejoramiento del drenaje de áreas pantanosas, la construcción de represas, el cercado del hábitat de los caracoles y evitando el derrame de los bebederos para contrarrestar el mantenimiento de humedad en ciertas zonas. En sí, el fundamento sería reducir las condiciones ecológicas para que el caracol no logre desarrollarse y reproducirse. Los métodos químicos son los más discutibles con respecto a su empleo, debido al efecto negativo que pueden causar al ambiente (acumulación de residuos tóxicos en el agua, siendo un problema para el ganado y fauna circundante).

Entre los compuestos químicos utilizados tenemos al Niclosanida, Pentaclorofenato de sodio, N-tritilmorfolina y el sulfato de cobre. Este último es el más utilizado, y para su efectividad, debe tener contacto directo con el caracol a través del movimiento de agua durante 24 horas siguientes. Se debe tener en cuenta que este químico se degrada con la materia orgánica, perdiendo su eficacia. El sulfato de cobre es el que más contamina a



diferencia de otros. El control biológico es una de las alternativas más factibles pero que aún falta investigar más sobre el tema. Hasta el momento, algunos autores han encontrado que plantas saponinas, algas, bacterias (*Bacillus sp.*), caracoles del género *Maritza sp.*, patos, pájaros y peces pueden depredar al caracol limneido y así controlar su dinámica de población (Fiel, 2005; Ayele, 2016).

Finalmente, el control del parásito dentro del hospedero definitivo es el más empleado a nivel mundial. Con el objetivo de interrumpir una de las fases del parásito que desarrolla dentro del hospedero, el uso de antihelmínticos suele ser efectivo y la alternativa más fácil.

Existen diversos fármacos que actúan como fasciolicidas utilizados en ganadería. Los principios activos son el closantel, nitroxinil, oxiclozanida, rafoxanide, albendazol, clorsulón y triclabendazol. Su efectividad varía según el estado de *Fasciola hepatica* al cual afecta. Por ejemplo, los albendazoles, oxiclozanidas, clorsulón, nitroxinil y closantel, sólo pueden eliminar parásitos adultos o de 5 a 8 semanas. Mientras que el clorsulón + nitroxinil, triclabendazol y el dianfenetida pueden ser efectivos en cualquier estadio del parásito. El empleo de antihelmínticos debe estar sujeto a ciertos criterios. Se recomienda el empleo de un calendario de dosificación para tener en cuenta las estaciones de lluvia y seca, la intensidad del parásito dentro del hospedero (prevalencias y cargas parasitarias) y el estado nutricional y fisiológico del animal. Estos tratamientos deberían estar incluidos en programas de monitoreo y de pronóstico de acuerdo a las zonas endémicas. Sin embargo, el uso excesivo y constante de estas drogas han causado reportes de resistencia antihelmíntica en diferentes especies animales, incluido el humano (Rojas, 2004; Kelley *et al.*, 2016).

Considerando lo anterior, actualmente se está realizando varios estudios sobre el uso de compuestos naturales de origen vegetal y animal como fasciolicidas. Las lectinas, proteínas o glicoproteínas fijadoras de carbohidratos, pueden inhibir enzimas del parásito (Cathepsina B, la cual tiene un papel importante en la invasión de *Fasciola hepatica*), evitando que llegue a atravesar el intestino delgado y entrar en la cápsula hepática (Becerra, 2001).

La vacunación también ha sido considerada como una alternativa para la prevención de la enfermedad. Se han realizado muchos avances con respecto al aislamiento, caracterización y la comprobación de ciertas moléculas nativas y recombinantes como vacunas contra fasciolosis hepática en rumiantes; tales como la FABP (Proteína unida a ácidos grasos), GST

(glutati3n-s-transferasa), CAT-L y CAT-B (Cathepsina L y B). Sin embargo, los resultados han mostrado cierto grado de inconsistencia debido a los programas y formulaciones de las vacunas, edad de los animales, raza, n3mero de animales dentro de los grupos experimentales, dosis y reg3menes de infecciones. A3n hay mucho que investigar en este tema (Molina-Hern3ndez *et al.*, 2015).

### **1.2.8 Resistencia antihelm3ntica**

Como ya se ha mencionado anteriormente, el uso de las drogas antihelm3nticas es una de las estrategias m3s utilizadas y m3s efectivas para contrarrestar la distomatosis hep3tica en distintas especies animales a nivel mundial. Entre los diversos f3rmacos existentes, el triclabendazol es una de las principales drogas usadas contra *Fasciola hepatica*. Esta droga se utiliz3 a partir de los a3os 80 en casos de distomatosis hep3tica aguda y cr3nica en rumiantes (Fairweather y Boray, 1999).

Sin embargo, uno de los problemas m3s cr3ticos sobre el uso de f3rmacos en el control de par3sitos es la resistencia antihelm3ntica. La resistencia antihelm3ntica ocurre cuando una poblaci3n de par3sitos susceptible muestra una disminuci3n en la respuesta al tratamiento y se completa cuando la dosis m3xima del f3rmaco permitida para el hospedero no tiene ning3n efecto (Cole, 2006).

Lamentablemente, este problema ya ha sido reportado en varios pa3ses y demuestra c3mo la resistencia hacia los f3rmacos es una consecuencia inevitable de los tratamientos antihelm3nticos (Kaplan y Vidyashankar, 2012). Se registraron casos de resistencia al triclabendazol en ovejas experimentalmente infectadas con cepas susceptibles y resistentes de *Fasciola hepatica* en Holanda (Gaasenbeek *et al.*, 2001). En el mismo pa3s, en una granja de crianza mixta (ganado vacuno y ovino), tambi3n se report3 resistencia ante el triclabendazol, utilizando la prueba de reducci3n de recuento de huevos (FECRT) (Moll *et al.*, 2000). Adem3s, pa3ses como Irlanda, Espa3a, Nueva Zelanda, Escocia, Gales y Australia reportaron el mismo problema en ganado vacuno, mediante pruebas FECRT y pruebas de reducci3n de coproant3genos (CRT) (Kelley *et al.*, 2016).

Latinoam3rica no es ajeno a este problema. En la Patagonia, Argentina, Olaechea *et al.* (2011), realizaron pruebas de eficacia (FECRT y CRT) con cepas aisladas de *Fasciola*

*hepatica*, para comprobar si existía resistencia al triclabendazol, closantel y nitroxinil en ganado vacuno. Los resultados demostraron la efectividad del closantel y nitroxinil en animales infectados, pero el triclabendazol no funcionó en ninguna de las etapas de la prueba, demostrando resistencia hacia ese fármaco. Hasta la fecha, en el Perú se han registrado dos casos de resistencia antihelmíntica en ganado vacuno. Chávez *et al.* (2012) registró casos de resistencia antihelmíntica al triclabendazol y albendazol en ganado de Jauja, Junín; mediante la prueba FECRT. En Cajamarca también se demostró, mediante pruebas de eficacia, resistencia al triclabendazol (25.2% a 31.05% de eficacia del triclabendazol) en vacunos infectados naturalmente y en ovinos infectados con cepas aisladas de *Fasciola hepatica* (Ortiz *et al.*, 2013).

En los trabajos mencionados, se concluye que la principal causa de la resistencia antihelmíntica es el uso excesivo y frecuente de las drogas en las granjas. En complemento, las dosificaciones empíricas, el uso de los mismos productos o principios activos frecuentemente, la falta de tratamientos estratégicos, las dosificaciones incorrectas y la gran capacidad reproductiva del parásito, intensifican aún más el problema de la resistencia ante los fasciolícidias.

### **1.2.9 Zoonosis**

Al igual que en el ganado, *Fasciola hepatica* resulta ser un problema de salud global en humanos. La fasciolosis humana ha sido reportada en casi todo el mundo, alrededor de 70 países de América, África, Europa, Asia y Oceanía; siendo los Andes y el altiplano, el oeste de Europa, al norte de África y parte del medio oriente las zonas con mayores ocurrencias (Mas-Coma *et al.*, 1999; Cabada *et al.*, 2016).

Según los historiales clínicos, la enfermedad puede provocar dos tipos de infecciones. La infección aguda, la cual ocurre durante la migración de las formas juveniles hacia el hígado, presenta síntomas como fiebre, hepatomegalia con dolor abdominal, hipereosinofilia y anemia. Mientras que la infección crónica, donde las formas adultas ya están establecidas en los canalículos biliares, presenta síntomas de hiperplasia de las paredes biliares con marcada fibrosis en los conductos biliares, dolores crónicos, ictericia, eosinofilia, náuseas y vómitos (Espinoza *et al.*, 2010).

La clasificación de zonas según la situación endémica de la enfermedad en humanos fue determinada como: zonas hipoendémicas (prevalencias menores al 1% y con promedios de 50 huevos por gramo de heces), zonas mesoendémicas (prevalencias entre el 1% y 10%, con promedios entre los 50 y 300 huevos por gramo de heces) y zonas hiperendémicas (prevalencias mayores al 10%, con promedios mayores de 300 huevos por gramo de heces) (Mas-Coma *et al.*, 2005).

Algunos países de Sudamérica se encuentran de las zonas hiperendémicas, y el Perú es uno de ellos. Un total de 1701 personas fueron reportadas como infectadas con *Fasciola hepatica* en el Perú entre 1963 y 2005 (Marcos *et al.*, 2007). En dos distritos de Huancavelica, Valencia *et al.* (2005), encontró una prevalencia de 4.9% en escolares de zonas rurales. En localidades de Cajamarca se encontró una prevalencia de 24.4% en niños procedentes también de zonas rurales (González *et al.*, 2011). Otras regiones como Lima, Puno, Arequipa, Junín, Cajamarca y Cuzco presentaron prevalencias de 7%, 12%, 27%, 19%, 14% y 13%, respectivamente (Marcos *et al.*, 2007).

López *et al.* (2012), también encontró en Cuzco una prevalencia de 11% en niños de distintas localidades. Lo más preocupante fue evidenciado en esa misma región, donde se reportaron fallas en múltiples tratamientos con triclabendazol en siete pacientes infectados, siendo esta droga la única disponible como tratamiento de fasciolosis en humanos (Cabada *et al.*, 2016). Considerando uno de nuestras áreas de estudio, Matahuasi, ubicado en el Valle del Mantaro, Junín; Marcos *et al.* (2004), hizo un muestreo de 206 niños de dicho valle. Los resultados mostraron prevalencias moderadas de 32.48% y 20.61%, según las pruebas serológicas y coprológicas, respectivamente.

Se consideran posibles medios de contaminación y factores de riesgo el consumo de aguas potencialmente contaminadas (por ejemplo, beber emolientes hechos de agua infectada), el consumo de vegetales crudos regados con aguas contaminadas, vivir en zonas cercanas a acequias y/o cultivos, criar animales hospederos como vacunos y ovinos, y eliminar las heces de manera inadecuada (Marcos *et al.*, 2004; Valencia *et al.*, 2005; Mas-Coma *et al.*, 1999).

### 1.3 Sistemas de información geográfica (SIG)

Los sistemas de información geográfica (SIG) son integraciones organizadas de hardware, software y datos geográficos diseñados para capturar, integrar, ordenar, almacenar, analizar y manipular información espacial, incluyendo mapas estándar, fotografías aéreas, imágenes satelitales, imágenes de sensores remotos, mapas de vegetación, geología y zonas climáticas (Yilma y Malone, 1998; Tueller, 1989, Cromley, 2003).

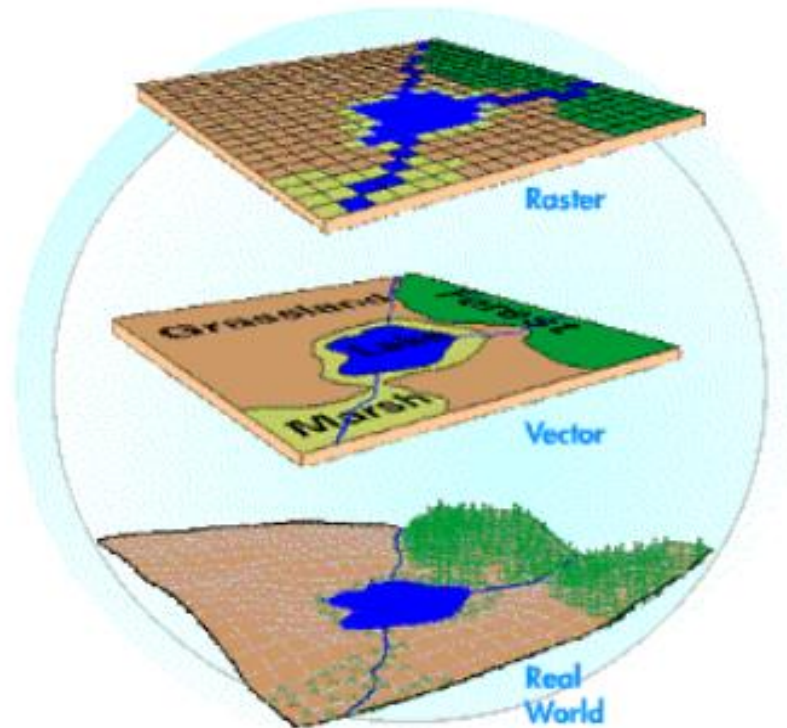
La estructuración de los SIG se basa en cinco componentes principales (Chang, 2005; Fletcher-Lartey y Caprarelli, 2016):

- Información espacialmente referenciada, colectada y almacenada. Ciertos datos están disponibles en entidades geográficas públicas, universidades, empresas privadas, ONGs, entre otros.
- El hardware físicamente almacena información y herramientas de procesamiento. Por ejemplo, computadoras, dispositivos de almacenamiento (CDs, DVDs, memorias externas), equipos de adquisición de datos (Sistemas de posicionamiento global (GPS), satélites, scanner).
- El software que fabrica los algoritmos de la interfaz de usuario mediante los cuales los usuarios pueden acceder a la base de datos, consultar y analizar los datos. Existen paquetes de softwares simples como IDRISI, GRASS, QGIS, etc., y paquetes complejos como Arc Info, y ArcGis (ESRI).
- Los algoritmos y los procedimientos de gestión de datos. Existen una serie de métodos y herramientas como el ArctoolBox, donde se pueden encontrar opciones de sobre posición, algebra de mapas, buffers, reclasificación, y otros que se utilizan en la elaboración de mapas.
- Las personas, tanto productores como consumidores de datos espaciales.

Los SIG tienen la ventaja de poder manejar abundante información espacial y no espacial; y la capacidad de poder cambiar y actualizar varias condiciones y parámetros; permitiendo así la superposición de información para el desarrollo de mapas. Estos softwares manejan dos tipos básicos de data: data geoespacial, que define la localización de un objeto en la tierra; y data de atributos, que describe las características de este objeto. Ofrecen la única habilidad de vincular lo espacial y la data de atributos, y luego manipular y analizar la relación entre estos (Landres *et al.*, 2001).

### 1.3.1 Modelo de datos de SIG

De acuerdo al método para representar o modelizar la realidad geográfica, los SIG pueden considerarse de dos tipos: capa ráster y capa vectorial (Figura 1) (Mancebo *et al.*, 2008).



**Figura 1: Modelo de datos tipos ráster y vectorial, representando el mundo real.**

FUENTE: Extraído de Raju (2003).

Capa Ráster: Están determinadas por una malla rectangular formada por celdillas cuadradas o píxeles. Cada una de estas celda o píxeles contiene un valor o número, el cual brinda la información necesaria para representar un aspecto del territorio real. Este tipo de SIG se utiliza para modelizar características del medio muy variables o que generalmente son cuantitativos y continuos. Por ejemplo, factores fisiográficos como altitud, pendiente y orientación; o atmosféricos como la temperatura, precipitación y contaminación, se deben modelizar en base a estas estructuras de datos (Mancebo *et al.*, 2008).

Capa vectorial: Están determinadas por un conjunto de puntos, líneas y/o polígonos que representan características de un territorio determinado. Todas estas capas contienen información geográfica, localizaciones e información alfanumérica que describen ciertas características de los objetos. Los puntos vienen a ser pares de coordenadas (x; y) que ubican la posición exacta de un objeto sobre la superficie de la tierra. Así, por ejemplo, pozos,

fuentes, manantiales, entre otros pueden quedar representados con esta estructura vectorial (Melnick, 2002; Mancebo *et al.*, 2008). Las líneas son puntos ordenados consecutivos y poseen vértices, nodos iniciales y nodos finales. Esta estructura nos permite modelizar carreteras, ríos, curvas de nivel, entre otras características. Los polígonos son líneas cerradas que delimitan superficies. Con éstos se pueden modelizar vegetaciones, suelos, geologías, montañas, provincias, países, entre otros (Mancebo *et al.*, 2008).

#### **1.4 Sensores remotos**

Sensores remotos o teledetección es la ciencia de adquirir información de la superficie de la tierra sin haber tenido contacto con ella. Estos sensores logran este proceso debido a que captan la energía electromagnética reflejada o emitida desde los cuerpos en la superficie de la tierra (Cromley, 2003). La energía o radiación electromagnética cubre continuamente un amplio rango de valores de longitudes de onda, conocido como el espectro electromagnético (Olaya, 2011). En la Tabla 1, se muestra las principales divisiones del espectro electromagnético.

Ciertas imágenes representan la radiación solar reflejada en las regiones visibles y del infrarrojo cercano del espectro electromagnético, mientras que otras vienen a ser las mediciones de la energía emitida por la superficie terrestre, en otras palabras, en la región de la longitud de onda del infrarrojo térmico (Aggarwal, 2004).

La información que contribuyen estos sensores son más que fotografías de alta calidad de color e imágenes digitales que pueden ser manipuladas. Esta información es adquirida a través de cámaras satelitales, aparatos de detección infrarroja y ultravioleta, receptores de radar y radiofrecuencia. Las interpretaciones de los sensores remotos pueden estudiar ciertas características directamente y otras indirectamente por inferencia o asociación; lo cual permite que, junto con los SIG, puedan proveer nuevos enfoques dentro de la agricultura y ganadería (Tueller, 1989).

**Tabla 1: División principal del espectro electromagnético**

<b>Longitud de onda</b>	<b>Descripción</b>
Rayos gamma	Rayos gamma
Rayos X	Rayos X
Región Ultravioleta (UV) 0.30 $\mu\text{m}$ - 0.38 $\mu\text{m}$ (1 $\mu\text{m}$ = 10 <sup>-6</sup> m)	Esta región se encuentra más allá del violeta, de ahí deriva su nombre. Algunos materiales de la superficie terrestre principalmente rocas y minerales emiten radiación UV visible. Sin embargo, en su mayoría se dispersa por ende no se utiliza en la teledetección.
Espectro visible (0.4 $\mu\text{m}$ - 0.7 $\mu\text{m}$ ) Violeta (0.4 $\mu\text{m}$ - 0.446 $\mu\text{m}$ ) Azul (0.446 $\mu\text{m}$ - 0.5 $\mu\text{m}$ ) Verde (0.5 $\mu\text{m}$ - 0.578 $\mu\text{m}$ ) Rojo (0.62 $\mu\text{m}$ - 0.7 $\mu\text{m}$ )	Esta es la luz, que nuestros ojos pueden detectar. Esta es la única parte del espectro que puede asociarse con el concepto de color. Azul, verde y rojo son los tres colores primarios del espectro visible. El color de un objeto se define por el color de la luz que refleja.
Infrarrojo (IR) (0.7 $\mu\text{m}$ – 100 $\mu\text{m}$ )	Las longitudes de onda más largas que la porción roja del espectro visible se designan como el espectro infrarrojo. Se puede dividir en dos partes según sus propiedades. Para la teledetección se utiliza IR reflejado (7 $\mu\text{m}$ - 3.0 $\mu\text{m}$ ).
Región de las microondas (1nm – 1m)	Las longitudes de onda más cortas de este rango tienen propiedades similares a la región infrarroja térmica. La principal ventaja de este espectro es su capacidad de penetración a través de las nubes.

FUENTE: Extraído de Aggarwal (2004).



### **1.4.1 Tipo de sensores remotos**

Según el origen o fuente de radiación que reciben. Los sensores remotos pueden ser activos o pasivos.

#### **a. Sensores activos**

Son aquellos sensores que poseen una fuente de radiación de energía propia y no dependen de una fuente externa para irradiar la superficie de la tierra. El sensor emite radiación la cual es direccionada hacia el objetivo a investigar. La radiación reflejada desde el objetivo es detectado y medido por el sensor. La ventaja de estos sensores es que pueden obtener mediciones en cualquier momento, independientemente del momento del día o la época. Así mismo, éstos pueden examinar longitudes de ondas que no pueden ser proporcionados por el sol, tales como los microondas. Una desventaja sería que requieren de una gran cantidad de energía para iluminar adecuadamente los objetivos. Ejemplos: radares, radiómetros de microondas, lidar (Pérez, 2007).

#### **b. Sensores pasivos**

Son los sensores que detectan y miden la radiación electromagnética reflejada o emitida por el objetivo ubicado en la superficie terrestre que proviene de una fuente externa. Estos sensores no poseen radiación propia y dependen de una fuente de iluminación externa, tal como el sol. Éstos solo pueden ser usados cuando la energía está disponible naturalmente, es decir, durante el momento en el que el sol está iluminando la tierra. Ejemplos: Landsat Thematic Mapper, OLI, TIRS, SPOT, TIROS, AVHRR, MODIS, ASTER, MSI (Pérez, 2007).

### **1.4.2 Satélites y sensores**

Los satélites son referidos a las plataformas que orbitan de forma artificial alrededor de la tierra a altitudes de 36 000 kilómetros aproximadamente y poseen dispositivos o instrumentos llamados sensores. La trayectoria de un satélite en torno a la tierra es denominada órbita. Esta órbita se define de acuerdo a ciertos parámetros como el radio de inclinación, inclinación del plano de órbita y periodo de revolución (Pérez, 2007; Lillesand y Kiefer, 1994).

#### **a. Tipos de satélites y sensores utilizados en ganadería**

En la actualidad, existen diversos satélites y sensores que recopilan información espectral en la forma de imágenes satelitales.

- **Satélite NOAA**

Los satélites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) son satélites de órbita polar con la función de obtener datos meteorológicos y para el monitoreo de la atmósfera continental y oceánica. Entre los sensores más destacados tuvo al TIROS (Television and Infrared Observation Satellite – 1) y el AVHRR (Advanced very high resolution radiometer). Este último sensor detectaba radiación de luz visible (color rojo), infrarrojo cercano e intermedio, y porciones de infrarrojos térmicos del espectro electromagnético en un ancho de barrido de 3000 km. La información de estos sensores permite la evaluación de agua, vegetación, monitoreo de nubes, nieve y hielo, temperatura del suelo, entre otros (Jain, 1989).

- **Satélite EOS AM**

Satélite multinacional de la NASA (The national aeronautics and space administration), la cual funciona en una órbita polar alrededor de la tierra. Posee 5 sensores: CERES, MOPITT, MISR, MODIS y ASTER. El MODIS (Moderate resolution imaging spectroradiometer) es un radiómetro que contiene 36 bandas espectrales y una resolución espacial de 1 km. Es útil para medir la temperatura terrestre y oceánica, monitoreo de cambios climáticos, cambios en la productividad primaria biológica, entre otros (Muñoz y Ponce, 2005). Por su parte, el sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) presenta datos espectrales con una resolución espacial de 15 m en las regiones infrarrojas visibles y cercanas. Entre sus aplicaciones destacan el monitoreo de vegetación en bosques tropicales, volcanes activos, generación de modelos de elevación digital (DEM), monitoreo de áreas marinas, entre otros (Pérez, 2007).

- **Satélite Landsat**

Satélite desarrollado por la NASA para el monitoreo de la superficie terrestre; siendo uno de los que cuenta con mayor número de versiones lanzadas hasta la fecha, tales como ERTS-1, LANDSAT 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8. Desde el ERTS-1 hasta

el LANDSAT 3 presentaban sensores MSS (Multispectral scanner) y RBV (Return beam Vidicon) con una resolución espacial de 80 metros. Los LANDSAT 4, 5, 6 y 7 presentar aparte del MSS, un nuevo sensor llamado TM (Thematic Mapper), el cual tiene una resolución espacial de 30 metros y 7 bandas espectrales. Cabe destacar que el LANDSAT 6 y 7 tienen un sensor ETM (Enhanced thematic Mapper) y un ETM+ (Enhanced thematic Mapper-Plus), respectivamente. El LANDSAT 8, por otro lado, presenta 11 bandas espectrales en dos nuevos sensores, el OLI (Operational Land Imager) y el TIRS (Thermal Infrared Sensor), donde las bandas 1 – 9 son bandas espectrales OLI, y el 10 y 11; TIRS. Las aplicaciones varían entre la medición de absorción de clorofila, identificación de tipos de vegetación, contenido de biomasa, humedad del suelo, etc. (Roy *et al.*, 2014).

- **Satélite SENTINEL 2**

Es un satélite desarrollado por la ESA (European Space Agency) del programa Copérnico, diseñado para proveer adquisiciones globales múltiples con características espectrales y espaciales similares al LANDSAT. Presenta un sensor MSI (Multi spectral Instrument) el cual está compuesto por 13 bandas espectrales que miden desde los 433 nm a 2190 nm. Cuatro bandas son de 10 metros, seis bandas de 20 metros y tres bandas de 60 metros de resolución espacial (Drusch *et al.*, 2012).

En la Tabla 2 se resumen las características de los satélites y sensores remotos utilizados en la agricultura y ganadería.

**Tabla 2: Principales satélites y sensores utilizados en ganadería y agricultura**

Satélite	Sensores	Año de lanzamiento	Resolución espectral (Nro. de bandas)	Resolución espacial (m)	Resolución temporal (días)	Tamaño de escena (km)	Disponibilidad	Referencias en ganadería
NOAA-10	AVHRR	1978	5	1100 x 1100	0.5	3000 x 3000	Libre	Malone <i>et al.</i> (1998)
TERRA EOS-AM	MODIS	1999	36	250 x 250 - 500 x 500 - 1000 x 1000	1	2330 x 2330	Libre	Bennema <i>et al.</i> (2011)
	ASTER	1999	14	15 x 15 - 30 x 30 - 90 x 90	16	60 x 60	Libre	Serbin <i>et al.</i> (2009)
LANDSAT (1-3)	MSS	1972/1978	5	79 x 79	18	185 x 185	Libre	Malone <i>et al.</i> (1992)
LANDSAT (4-5)	TM	1982/1984	7	30 x 30	16	185 x 185	Libre	
LANDSAT 7	ETM	1999	8	15 x 15 - 30 x 30 - 60 x 60	16	186 x 185	Libre	
LANDSAT 8	OLI	2013	9	15 x 15 - 30 x 30	16	170 x 183	Paga/Libre	
	TIRS	2013	2	100 x 100				
SENTINEL 2A	MSI	2015	13	10 x 10 - 20 x 20 - 60 x 60	5	290 x 290	Paga/Libre	Melendo -Vega <i>et al.</i> (2017)

Elaboración propia a partir del ITC; Jain, 1989; Pérez, 2007; Roy *et al.*, 2014 y Drusch *et al.*, 2012.

### 1.4.3 Información espectral

Las imágenes satelitales están compuestas por diferentes bandas a raíz de su naturaleza multispectral y/o hiperespectral. Cada banda contiene números digitales que representan la intensidad de la energía electromagnética medida por los sensores. Esta información puede ser obtenida a través de métodos de extracción gracias a herramientas o softwares informáticos (Pérez, 2007).

Uno de los métodos más empleados es el método de cociente de bandas, el cual permite al usuario manipular las bandas de una imagen y poder dividir las entre sí para finalmente crear una nueva imagen con nueva información (Pérez, 2007). Gracias a esta herramienta, podemos obtener índices a partir de los sensores remotos (Fuentes *et al.*, 2001).

#### a. Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)

Es un parámetro propuesto por Rouse *et al.* (1974) que muestra cualitativamente los cambios de verdor de la vegetación. Este índice usa la radiancia o reflectancia de la banda roja (alrededor de 660 nm de longitud de onda) y de la banda infrarrojo cercano (alrededor de 860 nm de longitud de onda) de una imagen. La energía del infrarrojo cercano es fuertemente reflejada por la superficie de la planta, y la cantidad de esta energía está determinada por las propiedades tisulares de la hoja (Gao, 1996). El NDVI es calculado utilizando la siguiente expresión (Verhulst y Govaerts, 2010):

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}}$$

Donde:

$R_{NIR}$ : Es la reflectancia del infrarrojo cercano

$R_{Red}$ : Es la reflectancia del rojo visible

El rango del valor del NDVI varía entre -1 y 1. Debido a la fuerte relación entre este índice y la actividad fotosintética de las plantas, este índice es ampliamente utilizado para analizar la condición de la vegetación, biomasa, cobertura vegetal, entre otros (Verhulst y Govaerts, 2010).

**b. Índice de diferencial de agua normalizado (NDWI)**

Es un parámetro que mide la cantidad de agua que posee la vegetación a nivel de saturación. El NDWI usa la reflectancia de la banda de luz verde y la banda del infrarrojo cercano. Se seleccionó estas bandas para maximizar la reflectancia típica de las características del agua mediante el uso de longitudes de onda de luz verde, minimizar la baja reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) para las características del agua y para aprovechar la alta reflectancia de NIR por la vegetación terrestres y las características del suelo. El NDWI es calculado de la siguiente manera (McFeeters, 1996):

$$NDWI = \frac{R_{Green} - R_{NIR}}{R_{Green} + R_{NIR}}$$

Donde:

$R_{Green}$ : Es la reflectancia de la luz verde visible

$R_{NIR}$ : Es la reflectancia del infrarrojo cercano.

El valor del NDWI varía entre -1 y 1. Este índice pueden ser usado para el monitoreo de sequias, degradación de suelos, el contenido de agua en la canopia de las plantas, etc. (Gao, 1996; Ceccato *et al.*, 2002).

**c. Índice de vegetación mejorado (EVI)**

Es un parámetro similar al NDVI, pero con una sensibilidad mejorada al reducir algunas fuentes de error producidos por las variables atmosféricas y de la variación canopia-suelo. Este índice se define como (Matsushita *et al.*, 2007):

$$EVI = \frac{G \times (R_{NIR} - R_{Red})}{R_{NIR} + (C_1 \times R_{Red} - C_2 \times R_{Blue}) + L}$$

Donde:

$G = 2.5$

$L$  = Factor de corrección del suelo ( $L = 1$ )

$C_1$  y  $C_2$  = Coeficientes usados para corregir la dispersión de aerosoles en la banda roja mediante el uso de la banda azul ( $C_1 = 6.0$ ;  $C_2 = 7.5$ )

$R_{NIR}$  = Reflectancia del infrarrojo cercano (0.7-1.1 $\mu$ m)

$R_{Red}$  = Reflectancia de la luz roja visible (0.6-0.7 $\mu$ m)

$R_{Blue}$  = Reflectancia de la luz azul visible (0.45-0.52 $\mu$ m)

## 1.5 Integración SIG y sensores remotos para el estudio y desarrollo de modelos de riesgo

Gracias a la gran accesibilidad y capacidad de los sistemas de información geográfica (SIG), está siendo utilizada ampliamente en el campo de la sanidad animal para realizar estudios de la epidemiología espacial, mapeos de prevalencias de infección a enfermedades, programas de monitoreo y vigilancia epidemiológica (Carpenter, 2011; Brooker *et al.*, 2000).

Siendo los factores climáticos y la variabilidad geoespacial, medios sensibles para el pronóstico de la prevalencia de *Fasciola hepatica*; distintos autores han realizado trabajos utilizando SIG como herramientas auxiliares para la construcción de modelos que puedan estimar zonas endémicas, zonas libres de enfermedad o zonas susceptibles de la enfermedad (Vilhena *et al.*, 2012).

En Europa se desarrolló un modelo que evaluaría la presencia o ausencia de fasciolosis bovina utilizando una resolución media espacial (MODIS). Con ello se identificarían los factores eco-climáticos más importantes que determinan la exposición y permiten la exploración de los diferentes impactos de los factores ambientales y meteorológicos entre biomas. Los resultados mostraron que los factores más importantes fueron la temperatura estacional, las precipitaciones en periodos fríos y las temperaturas mínimas en periodos fríos (Ducheyne *et al.*, 2015).

En Irlanda, se evaluó la prevalencia de fasciolosis en ganado lechero y se identificó los principales factores de riesgo climáticos y medioambientales con el objetivo de desarrollar un modelo de predicción para la ocurrencia de fasciolosis permitiendo la construcción de un mapa de riesgo de las probabilidades de exposición de la enfermedad. Los factores de riesgo más importantes fueron las precipitaciones y la temperatura ambiental. La información sobre suelos fue un predictor de baja importancia comparado con los factores anteriores. Las variables medioambientales como cobertura vegetal, subsuelo y mapas de hábitat no fueron considerados como factores potenciales de riesgo para fasciolosis. (Selemetas *et al.*, 2015a). Por otro lado, Olsen *et al.* (2015), en Dinamarca, desarrolló un modelo de análisis espacial sobre los factores de riesgo de infección de *Fasciola hepatica* en ganado lechero. Se obtuvo información sobre los hatos lecheros, el estado con respecto a fasciolosis en los camales, número de cabezas de ganado, variables ambientales como la presencia o ausencia de arroyos, humedales, orillas del lago, pastizales, bosques, césped, entre otros. Estos autores

encontraron que las variables con mayor asociación con el estado de fasciolosis fueron zonas de cultivo, tierras secas, arroyos, humedales y pastizales. La presencia de arroyos, humedales y pastizales en los fundos fueron un factor de riesgo para el estado positivo de fasciolosis hepática. Sin embargo, la presencia de tierras de cultivo y tierras secas en las granjas mostraron una asociación negativa con la presencia de fasciolosis hepática.

Así mismo, en Latinoamérica se han desarrollado estudios de la misma índole. En el estado de Espírito Santo, Brasil se trató de identificar los factores determinantes de la enfermedad y se analizó el riesgo de ocurrencia de fasciolosis hepática, usando un sistema de análisis georeferencial climático. Los factores determinantes fueron subjetivamente ponderados de acuerdo a su importancia relativa. Los factores fueron: uso de tierras, altitud, pendiente, precipitación, tipo de suelo y temperatura ambiental. Luego se clasificaron las áreas en rangos de probabilidades de acuerdo a su susceptibilidad: bajo riesgo (1-4), moderado riesgo (5-6), alto riesgo (7- 8) y muy alto riesgo (9-10). Se observó que más del 50% de la región pertenece al rango de alto o muy alto riesgo sobre fasciolosis hepática (Vilhena *et al.*, 2012).

En nuestro país, sólo se ha encontrado un trabajo realizado que involucra al distrito de Matahuasi, Valle del Mantaro, Junín, desarrollado por Fuentes *et al.* (2005), el cual es una de las áreas de este estudio. Esta investigación desarrolla los mapas usando el software ArcView GIS versión 3.2. El modelo epidemiológico fue desarrollado en base a información correspondiente de cada estación climatológica del área en estudio, a la aplicación de dos índices de pronóstico para la transmisión de fasciolosis (índices MT y el Wb-bs) y el análisis de la información del NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada). Este modelo trata de identificar las áreas según el riesgo de transmisión de fasciolosis en categorías como bajo, moderado y alto. Los resultados mostraron que la prevalencia de fasciolosis en el Valle del Mantaro fue alrededor del 20%, con zonas de baja, moderada y alto riesgo.

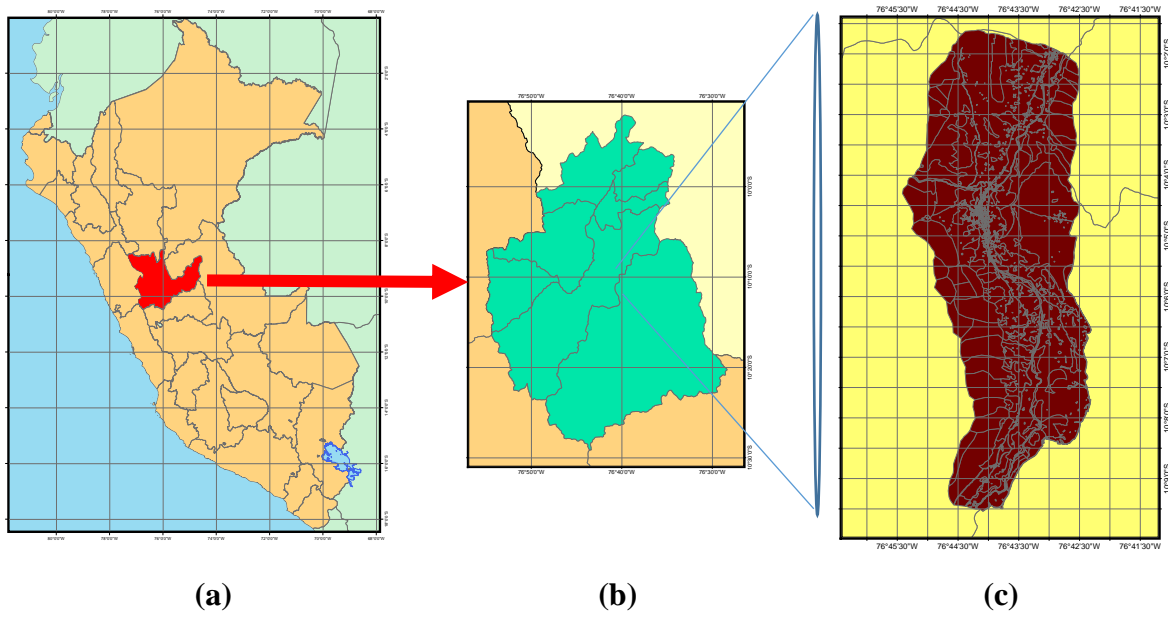


## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Áreas de estudio

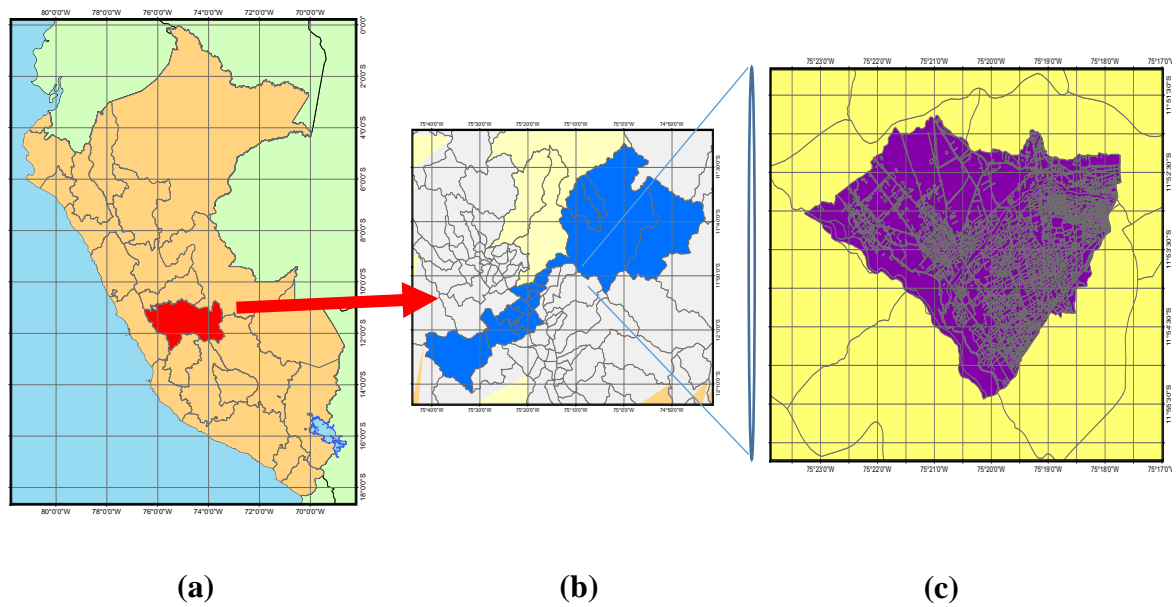
El presente estudio se llevó a cabo en áreas ganaderas ubicadas en dos distritos de la sierra central del Perú:

- Distrito de Baños, Provincia de Lauricocha, Región Huánuco (Figura 2). La zona estudiada en este distrito tiene una superficie total de 54.67 km<sup>2</sup> y presenta una elevación aproximada de 3640 msnm; se ubica entre la latitud 10°04'22"S y longitud 76°44'01"O. Su clima es templado, seco y frío con un relieve semiaccidentado. La temperatura media anual es de 10.3°C y presenta precipitaciones de 895 mm. El mes con menores precipitaciones es junio con 14 mm, mientras que marzo presenta mayores picos de lluvias con un promedio de 145 mm. Noviembre es el mes más cálido con una temperatura promedio de 10.9 °C y el mes más frío es julio con 9°C promedio.
- Distrito de Matahuasi, Provincia de Concepción, Región Junín (Figura 3). La zona en estudio presenta una superficie total de 35.14 km<sup>2</sup> y una elevación aproximada de 3230 msnm. Esta zona se ubica entre la latitud 11°53'21" S y longitud 75°20'30"O. Su clima es templado y frío, y se ubica dentro del Valle de Mantaro. En un año, las precipitaciones totales son de 677 mm y la temperatura media se encuentra a 12.1°C. La menor cantidad de lluvia ocurre en julio con 5 mm; mientras que en enero hay mayores precipitaciones con 128 mm. Las temperaturas son más altas en promedio en noviembre con alrededor de 13.2°C y las más bajas son en el mes de junio con 10.4 °C promedio.



**Figura 2: Mapa de la región Huánuco en el mapa del Perú.**

(a); mapa de la provincia Lauricocha (b) y el mapa del área de estudio en Baños (c).



**Figura 3: Mapa de la región Junín en el mapa del Perú.**

(a); mapa de la provincia Concepción (b) y el mapa del área de estudio en Matahuasi (c).

## **2.2 Animales**

Se utilizaron vacunos lecheros generalmente criollos o cruces con Brown Swiss y Holstein mayores al año de edad, criados de forma extensiva por pequeños y medianos productores de cada distrito. Se trabajó con ocho productores en promedio por cada área de estudio. En la zona de Matahuasi, las pasturas más consumidas fueron el trébol blanco, alfalfa y rye grass inglés. Mientras que, en la zona de Baños, las pasturas más importantes fueron trébol blanco, rye grass, dáctilos y pastos naturales como festucas.

Con respeto al muestreo, se tomó el 20% de la población total de vacunos por cada productor según la recomendación de los autores Rojas (2004) y Thrusfield (1990). Éstos fueron utilizados como animales “centinelas” los cuales fueron evaluados periódicamente para obtener referencias sobre las cargas y prevalencias parasitarias de las zonas de recolección de muestras. Dichos animales no debieron haber sido dosificados con antiparasitarios (especialmente fasciolicidas) al menos un mes previo a las fechas de colección de muestras de heces.

## **2.3 Análisis parasitológico**

### **2.3.1 Muestreo de heces de vacunos**

Los animales de cada criador fueron registrados de acuerdo al distrito al que pertenecen especificando el código, identificación del animal, edad, raza y otras observaciones que pueden observarse en el Anexo 1. Se colectaron las muestras de heces directamente del recto del animal, utilizando guantes de polipropileno para tacto rectal y aceite mineral como lubricante.

Las heces fueron depositadas en bolsas plásticas con el código correspondiente. Se almacenaron y transportaron en cajas isotérmicas de poliestireno expandido con geles congelantes para su conservación a temperatura adecuada. Posteriormente, las muestras fueron llevadas al laboratorio para su procesamiento.

Las colecciones de muestras en ambos distritos se hicieron en meses de época seca y época de lluvias. Las fechas y el número de muestras recolectadas por distrito se detallan en la Tabla 3. El número de animales colectados varió de acuerdo al mes de muestreo.

**Tabla 3: Fechas de viajes realizados a las áreas de estudio y número de animales muestreados por fecha y por distrito.**

<b>MATAHUASI, CONCEPCIÓN, JUNÍN</b>		<b>BAÑOS, LAURICOCHA, HUÁNUCO</b>	
<b>Fechas</b>	<b>Número de animales</b>	<b>Fechas</b>	<b>Número de animales</b>
Febrero del 2016	50	Febrero del 2016	57
Julio del 2016	51	Julio del 2016	55
Diciembre del 2016	53	Noviembre del 2016	56
Febrero del 2017	57	Marzo del 2017	58
Junio del 2017	56	Agosto del 2017	54
<b>TOTAL</b>	<b>267</b>	<b>TOTAL</b>	<b>280</b>

### 2.3.2 Procesamiento de muestras coprológicas en el laboratorio

#### a. Protocolo de la técnica de diagnóstico flukefinder® para *Fasciola hepatica*

El procesamiento de las muestras de heces de vacunos se realizó en el Laboratorio de Parasitología del Departamento Académico de Nutrición Animal de la Facultad de Zootecnia - UNALM. Se determinó la prevalencia y carga parasitaria mediante el kit comercial de diagnóstico Flukefinder®.

El kit flukefinder® es un sistema de diagnóstico para la detección de huevos de *Fasciola hepatica* por filtración diferencial seguido de una sedimentación diferencial. Así mismo, sostiene que logra detectar fácilmente cargas bajas por gramo de heces, siendo 100% eficiente. Este producto está compuesto por dos unidades, cada una con un tamiz de 50 mm de ancho de diferentes diámetros de malla. La unidad superior contiene un tamiz con malla de 125 nm de diámetro, lo cual permite retener los desechos y fibras fecales más grandes de las muestras procesadas. La unidad inferior contiene un tamiz con malla de 30 nm de diámetro, siendo esa pieza la que retendrá los huevos de *Fasciola hepatica* (Nzalawahe *et al.*, 2014).

El protocolo modificado de la técnica de Flukefinder® empleado fue el siguiente:

- Primero, se mezcló dos gramos de heces con 30 ml de agua en un vaso de plástico y luego se vertió en la sección superior del Flukefinder®. Posteriormente se colocó el

kit debajo del agua del grifo con una ligera inclinación y se llenó hasta la mitad. El proceso fue repetido tres veces.

- Se dio ligeros golpes al Flukefinder® contra el lado del fregadero para agilizar el paso del agua a través de las pantallas. Después, se separó la unidad superior de la unidad inferior del Flukefinder®. La unidad inferior fue invertida sobre un vaso y se lavó con agua el sedimento que se encontraba en la pantalla de esa unidad, con un chorro moderadamente fuerte de una pizeta de salida lateral.
- Seguidamente, se vertieron los residuos en un tubo de precipitación de 15 milímetros aproximadamente y se dejó reposar por unos 2 minutos. Pasados esos minutos, se eliminó el sobrenadante y se volvió a llenar el tubo con agua. Este último procedimiento fue repetido hasta que no se encontró demasiados desechos suspendidos.
- Finalmente, se depositó el sedimento final en una placa Petri y se agregó un chorro de agua más una gota de azul de metileno para su mejor visualización en un estereoscopio estándar (Leica EZ4, Suiza).
- Se anotaron los códigos de las muestras con resultados positivos y negativos en una ficha técnica (Anexo 2), y el número de huevos encontrados.

#### **b. Determinación de la prevalencia y carga parasitaria de *Fasciola hepatica***

La prevalencia en porcentaje se halló de acuerdo al número de animales positivos (es decir, aquellos animales donde se les encontraron huevos de *Fasciola hepatica* en las muestras de heces) sobre el total de animales muestreados por 100.

$$\text{Prevalencia (\%)} = \frac{\text{Número de animales positivos} \times 100}{\text{Nro. total de animales muestreados}}$$

También se halló los intervalos de confianza al 95% utilizando Microsoft Excel 2016 (MSO, Versión 1804). Posteriormente, las prevalencias se categorizaron de acuerdo a los resultados en ambas zonas de estudio en bajo, moderado y alto riesgo.

El conteo de huevos se obtuvo de acuerdo a la cantidad de huevos encontrados por gramo de heces (HPG). La dinámica parasitaria fue representada con gráficos mediante el programa Graphpad Prism® 6 (Software Inc, USA) y Microsoft Excel 2016 (MSO, Versión 1804).

## **2.4 Análisis de variables ambientales y climatológicas**

Las siguientes variables ambientales y climáticas fueron obtenidas de las zonas de pastoreo de los productores de cada área de estudio, georreferenciadas a través de un GPS Garmin®.

### **2.4.1 Análisis de suelo**

Se colectaron muestras de suelo de los distritos de Matahuasi, Junín y Baños, Huánuco; los cuales fueron procesados en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes del Departamento de Suelos de la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Para ello, se extrajo 1 kilogramo de suelo a 30 centímetros de la superficie de las áreas de pastoreo de los productores de cada distrito. Se obtuvieron tres muestras que representaban distintas zonas por distrito. Se utilizaron los datos sobre clase textural, salinidad y pH.

Para obtener la humedad del suelo, se tomó aproximadamente 500 gramos de muestras de suelo a 15 cm de profundidad en las zonas de pastoreo por cada productor en cada fecha de muestreo según el distrito. Luego, las muestras fueron llevadas al laboratorio de Utilización de Pastizales, Departamento de Producción Animal, Facultad de Zootecnia – UNALM, para ser secadas en un horno a 105°C por 24 horas. Se tomaron los pesos secos y húmedos; y el porcentaje de humedad será hallada según la ecuación (Gardner, 1986):

$$\text{Humedad suelo (\%)} = \frac{(\text{peso húmedo} - \text{peso seco}) \times 100}{(\text{peso seco})}$$

La temperatura del suelo en grados centígrados (°C) fue medida en las zonas de pastoreo de cada productor en cada fecha de muestreo según el distrito. Se utilizó un geotermómetro REOTEMP® (USA).

#### **2.4.2 Temperatura ambiental mensual**

Las imágenes de temperaturas mensuales tipo ráster fueron extraídas de la página web NASA GIOVANNI (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>), debido a que no había información en formato de imágenes satelitales de las estaciones meteorológicas cercanas disponibles para las fechas en cuestión. El tamaño de pixel es de 0.5 x 0.5 grados (50 km de longitud). Se extrajo la información dentro de los meses de muestreo en cada distrito.

#### **2.4.3 Precipitaciones mensuales**

La información de precipitación mensual se obtuvo de la data SENAMHI PISCO (<http://ons.snirh.gob.pe/SOURCES/.Peru/.SENAMHI/.PISCO/.Precipitation/.Monthly/>) en formato ráster (imágenes satelitales), de acuerdo a los meses de muestreo en cada área de estudio. El tamaño de pixel es de 0.05 x 0.05 grados (5 km de longitud).

#### **2.4.4 Distancias hacia ríos, zonas urbanas y caminos**

Se consideró las distancias en metros entre las zonas de pastoreo y la ubicación de ríos, zonas urbanas y caminos. Para ello, se utilizó el software ArcGis 10.4.1 (Esri Inc., USA) con la herramienta de análisis espacial “Distancias Euclidianas”.

#### **2.4.5 Elevación**

La elevación se calculó a través de imágenes tipo ráster provenientes del satélite ALOS PALSAR extraídas de la página web Alaska Satellite Facility (<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>). Las imágenes cuentan con tamaños de pixeles de 12.5 x 12.5 metros.

#### **2.4.6 Pendiente**

Al igual que la obtención de la elevación, la información sobre pendientes en grados (°) fue obtenida del satélite ALOS PALSAR. Adicionalmente, las imágenes fueron procesadas en el software ArcGis 10.4.1, utilizando la herramienta de análisis espacial “Pendiente”.

#### **2.4.7 Índices de vegetación y de agua**

Para poder obtener la información de los índices de vegetación y agua, primero se descargaron imágenes satelitales disponibles en las fechas de muestreo o cercanas a éstas y

de las zonas de estudio desde la página web USGS (<https://glovis.usgs.gov/app>). La información de las imágenes utilizadas fue extraída del satélite Landsat 8 y Sentinel 2. Se procuró que las imágenes estén libres de nubosidades en el momento de elegir las, por ello, en caso de que las imágenes satelitales hayan tenido muchas nubosidades durante las fechas de muestreo, se trabajó con imágenes de fechas cercanas (Tabla 4).

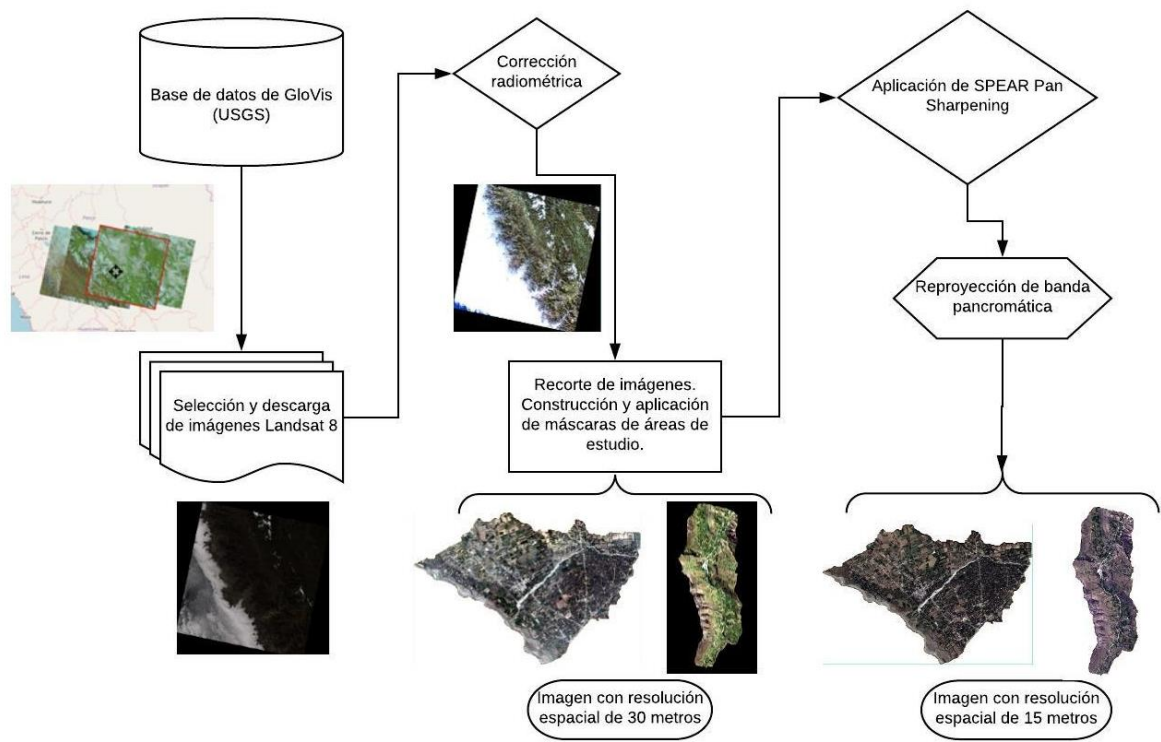
**Tabla 4: Fechas de obtención de las imágenes satelitales en Baños y Matahuasi según los meses de muestreo.**

Fechas de obtención de imágenes satelitales en Matahuasi		Fechas de obtención de imágenes satelitales en Baños	
<b>Landsat 8</b>	<b>Sentinel 2</b>	<b>Landsat 8</b>	<b>Sentinel 2</b>
Enero 2016	Abril 2016	Diciembre 2015	Enero 2016
Junio 2016	Agosto 2016	Junio 2016	Julio 2016
Octubre 2016	Noviembre 2016	Noviembre 2016	Noviembre 2016
Diciembre 2016	Febrero 2017	Enero 2017	Abril 2017
Julio 2017	Julio 2017	Junio 2017	Agosto 2017

**a. Procesamiento de imágenes Landsat 8**

Las imágenes fueron procesadas con el software ENVI 5.3® (Exelis visual information solutions Inc., USA). En primer lugar, las imágenes satelitales tipo Landsat 8 fueron sometidas a una corrección radiométrica en valores de reflectancia. Posteriormente se hizo un recorte de la imagen teniendo en cuenta el área de estudio en cuestión. Para este procedimiento se utilizó la opción de construcción y aplicación de máscaras. Debido a que las imágenes Landsat 8 poseen una resolución espacial a nivel de pixel de 30 metros de longitud, se procedió a mejorar esta resolución utilizando la opción SPEAR Pan Sharpening para obtener imágenes con resolución de 15 metros de longitud a nivel de pixel. Para ello, primero se reproyectó la banda pancromática de tamaño de pixel de 15 metros a las coordenadas de las zonas de estudio. Después se procedió a usar la opción SPEAR Pan Sharpening donde el file de alta resolución fue la banda pancromática y la de baja resolución, la imagen corregida radiométricamente. Al finalizar el procedimiento, tenemos como producto final una imagen con resolución espacial de 15 metros de longitud (tamaño de pixel en la superficie terrestre). Todo este procedimiento se ve esquematizado en la Figura 4.

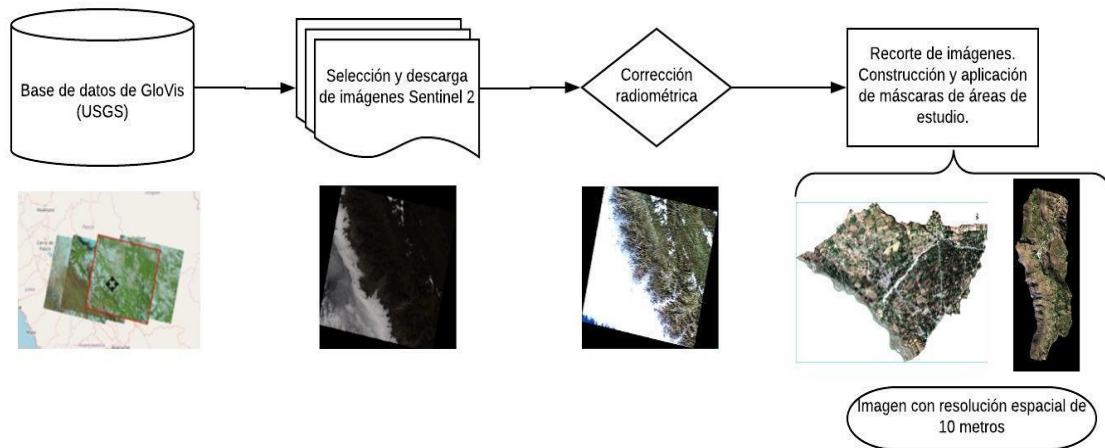




**Figura 4: Esquema de procesamiento de imágenes satelitales Landsat 8.**

**b. Procesamiento de imágenes Sentinel 2**

Después de descargar las imágenes Sentinel-2, éstas fueron corregidas radiométricamente en valores de reflectancia usando el software ENVI 5.3® (Exelis visual information solutions Inc., USA). Posteriormente, se hizo el recorte de las imágenes usando como molde las áreas de estudio. Esto se realizó usando la opción de construcción y aplicación de máscaras. Estas imágenes no necesitaron de una mejora en la resolución espacial ya que el tamaño de pixel es de 10 metros de longitud. El esquema del procesamiento se puede observar en la Figura 5.



**Figura 5: Esquema de procesamiento de imágenes satelitales Sentinel 2.**

**c. Obtención del índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)**

Usando las imágenes Landsat 8, se aplicó la opción Band Math donde la fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\text{NDVI} = \text{Float}(b1-b2) / (b1+b2)$$

Donde:

B1: Banda 5 infrarrojo cercano (850 – 880 nm)

B2: Banda 4 rojo (640 – 670 nm)

Usando las imágenes Sentinel 2, se aplicó la opción Band Math donde la fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\text{NDVI} = \text{Float}(b1-b2) / (b1+b2)$$

Donde:

B1: Banda 8 infrarrojo cercano (842 nm)

B2: Banda 4 rojo (665 nm)

**d. Obtención del índice de diferencial de agua normalizado (NDWI)**

Usando las imágenes Landsat 8, se aplicó la opción Band Math donde la fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\text{NDWI} = \text{Float}(b1-b2) / (b1+b2)$$

Donde:

B1: Banda 3 verde (530 – 590 nm)

B2: Banda 5 infrarrojo cercano (850 – 880 nm)

Usando las imágenes Sentinel 2, se aplicó la opción Band Math donde la fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\text{NDWI} = \text{Float}(b1-b2) / (b1+b2)$$

Donde:

B1: Banda 3 verde (560 nm)

B2: Banda 8 infrarrojo cercano (842 nm)

**e. Obtención del índice de vegetación mejorado (EVI)**

Usando las imágenes Landsat 8, se aplicó la opción Band Math donde la fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\text{EVI} = 2.5 * \text{float}(b1-b2) / (b1 + (6 * b2) - (7.5 * b3) + 1)$$

Donde:

B1: Banda 5 infrarrojo cercano (850 – 880 nm)

B2: Banda 4 rojo (640 – 670 nm)

B3: Banda 2 azul (450 – 550 nm)

Usando las imágenes Sentinel 2, se aplicó la opción Band Math donde la fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\text{EVI} = 2.5 * ((\text{float}(b1) - \text{float}(b2)) / (\text{float}(b1) + (6 * \text{float}(b2)) + (7.5 * \text{float}(b3))))$$

Donde:

B1: Banda 8 infrarrojo cercano (842 nm)

B2: Banda 4 rojo (665 nm)

B3: Banda 2 azul (490 nm)

## **2.5 Georreferenciación espacial de la información de muestreo**

Después de obtener toda la información descrita previamente de cada zona de pastoreo/por productor/por área de estudio, éstas fueron referenciadas espacialmente en el software ArcGis 10.4.1 usando las coordenadas “x” e “y” obtenidas del GPS Garmin®. Entonces, la data sobre prevalencia, elevación, pendiente, precipitación, temperatura, humedad del suelo, temperatura del suelo, distancias y los índices de vegetación (NDVI, EVI) y agua (EVI) fueron introducidas en una capa vectorial de puntos utilizando la herramienta “Extraer valores múltiples a puntos”. Se obtuvieron 4 capas de puntos por distrito y según la época y el año (época de lluvia y seca del 2016 y 2017). Posteriormente, la información de ambos distritos fue llevada al programa estadístico SPSS® Statistics Versión 22 (IBM Corp., USA).

## **2.6 Análisis estadístico**

Para poder saber la importancia de las variables ambientales y climáticas como predictores del nivel de riesgo de *Fasciola hepatica*, se estructuraron modelos estadísticos con Redes Neuronales - perceptrón multicapa en el programa estadístico SPSS® Statistics Versión 22 (IBM Corp., USA), considerando el porcentaje correcto pronosticado en la clasificación de entrenamiento y pruebas. Se introdujeron los datos de las variables de distintas formas con la finalidad de lograr un modelo efectivo y obtener las variables con mejor performance para la predicción de riesgo de la presencia de estos parásitos. Los mejores modelos se eligieron de acuerdo a la prueba simétrica Kappa al compararlos con el riesgo observado.

## **2.7 Desarrollo de mapas de riesgo de *Fasciola hepatica***

Mediante el software ArcGIS 10.4.1, se digitalizó previamente las áreas de estudio tanto en Matahuasi como en Baños (Anexo 3). Para ello, se creó una capa vectorial con un tipo de característica polígono. Cada digitalización fue clasificada en parcelas de pastoreo, zonas urbanas, caminos y carreteras, áreas forestales (árboles), montañas y el/los río(s). Posteriormente, se hizo la eliminación de polígonos de menor tamaño (“Eliminate”) y se mejoró la digitalización utilizando la herramienta “Dissolve”.

Se hizo la conversión de la capa vectorial (la digitalización) a una nueva capa de puntos con la herramienta “De entidad a punto”, para ambas áreas de estudios. Después, toda la información de las variables ambientales y climáticas aceptadas por el modelo estadístico fueron introducidas en la nueva capa de puntos utilizando las herramientas “Estadística

Zonal” y “Extraer valores múltiples a puntos”, respectivamente. Cada área tuvo sus respectivas coordenadas geográficas “x” e “y”.

Luego de tener todos los datos en una tabla de atributos de ArcMap®, éste se exportó hacia el programa estadístico SPSS®. Dentro del software, nos dirigimos hacia la opción Utilidades, Asistente de puntuación, seleccionamos el modelo estadístico elegido previamente, igualamos los campos de modelos con el conjunto de datos y finalmente guardamos el valor pronosticado.

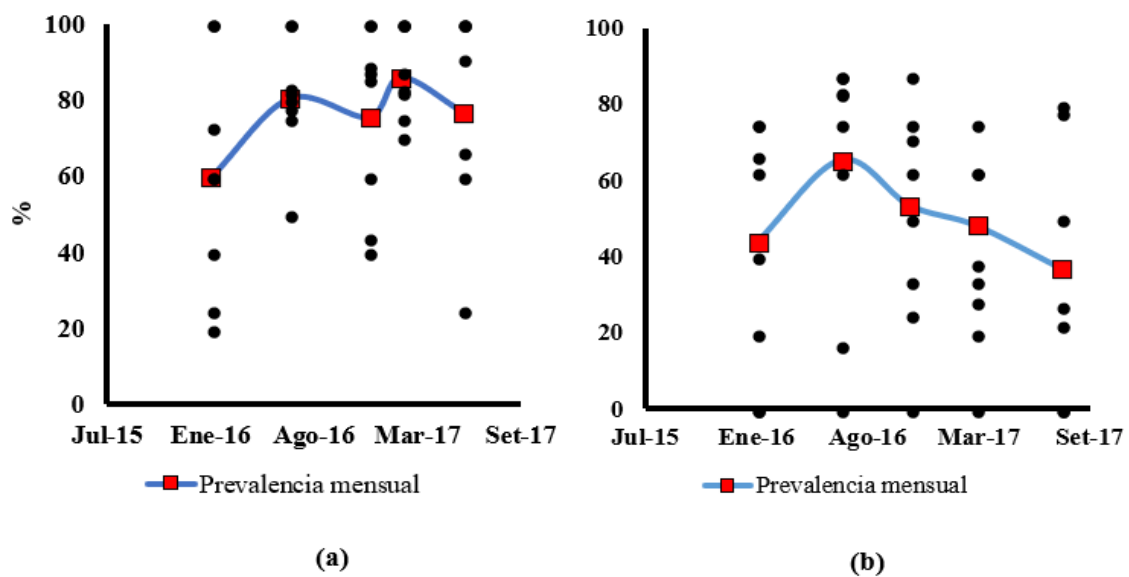
Volviendo al programa ArcGis 10.4.1, se abrió el archivo guardado del valor pronosticado, se agregó datos de coordenadas X, Y; y se utilizó la herramienta “Unión espacial”, donde las características de destino fue el mapa digitalizado, y las características de unión; el archivo con el valor pronosticado. Finalmente se tuvo los mapas de riesgo en formato vectorial (polígonos) mostrando las zonas con baja, moderada y alta probabilidad de presentar *Fasciola hepatica* en ganado vacuno.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Epidemiología de Fasciolosis hepática en bovinos

##### 3.1.1 Prevalencias mensuales (%)

Las prevalencias por cada mes de muestreo en las áreas de estudio de Matahuasi y Baños se pueden apreciar en el Anexo 4. En Matahuasi, los meses con mayores porcentajes de prevalencia de *Fasciola hepatica* fueron julio del 2016 y febrero del 2017, con  $80.39\pm 10.9\%$  y  $85.96\pm 9.0\%$ , respectivamente. Mientras que, en Baños, los meses con mayores prevalencias fueron julio y noviembre del 2016, con  $65.45\pm 12.6\%$  y  $53.57\pm 13.1\%$ , respectivamente. Las prevalencias encontradas por cada productor durante cada periodo de muestreo y las prevalencias mensuales de cada distrito están representadas en la Figura 6.



**Figura 6: Prevalencias mensuales generales y prevalencias mensuales por productor de *Fasciola hepatica* en vacunos lecheros muestreados en el distrito de Matahuasi (a) y Baños (b).**

Nota: Los cuadros rojos representan las prevalencias mensuales generales y los puntos negros, las prevalencias mensuales por productor.

En el distrito de Matahuasi, el promedio de las prevalencias por cada productor fue de  $76.21 \pm 7.4\%$  (20% - 100%). Por otro lado, en Baños, el promedio de las prevalencias por cada productor fue de  $46.54 \pm 9.5\%$  (0% - 87.5%). Estos resultados nos indican que, a nivel general, hubo mayor cantidad de animales infectados en Matahuasi que en Baños tanto en los meses secos como en los de lluvias. La tendencia de prevalencias en Matahuasi se mantiene casi constante desde julio del 2016 hasta junio del 2017. Caso contrario ocurre en Baños, donde la cantidad de animales infectados alcanzó su pico en julio del 2016 y fue descendiendo hasta agosto del 2017.

A pesar de las diferencias de las prevalencias entre estos distritos, ambos mostraron prevalencias superiores a los citados por Manrique y Cuadros (2002), quien encontró prevalencias en Huánuco de 22% y en Junín; 39%. También resultaron mayores a las prevalencias que Cordero (2016) halló en camales, con un 7.88% en Junín y 7.25% en Huánuco.

Si comparamos a nivel de distritos, las prevalencias encontradas también fueron superiores a las del distrito de Huertas, Jauja en Junín, donde se registró un 38.2% de prevalencia (Chávez *et al.*, 2012) y 35.7% en Vilcashuamán, Ayacucho (Ticona *et al.*, 2010). Otros distritos mostraron similares prevalencias a las encontradas en este trabajo, como La Encañada, Cajamarca, con un 63.2% (Raunelli y Gonzalez, 2009), Yambrasbamba en Amazonas, con 59.5% (Othaix, 2014) y en el Valle del Mantaro, con un 55.7% (Castro *et al.*, 2002).

Estos valores nos indicarían que tanto el distrito de Matahuasi como el distrito de Baños deben ser consideradas como zonas hiperendémicas de fasciolosis bovina. Considerando las prevalencias encontradas por productor y por área de estudio, se categorizó el riesgo de infección de *Fasciola hepatica* en bajo, moderado y alto (Tabla 5).

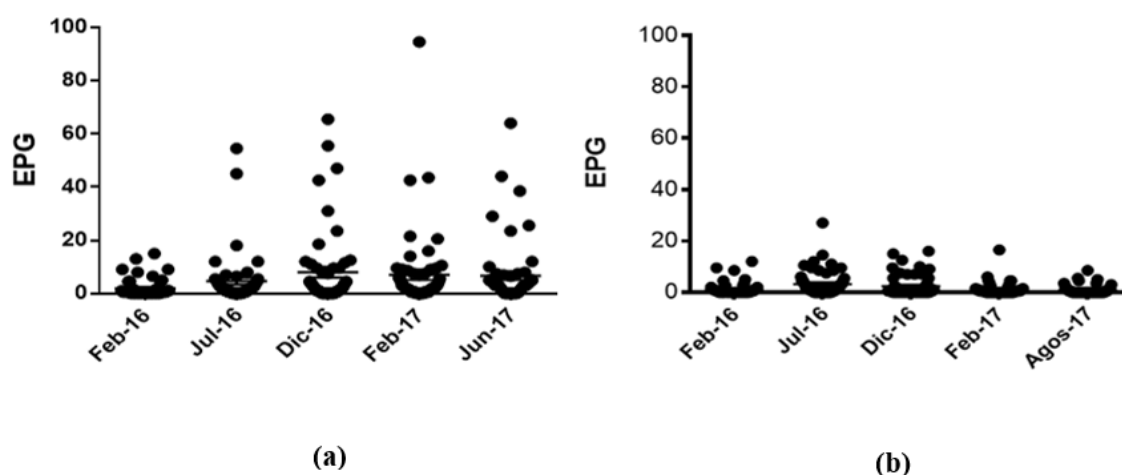
**Tabla 5: Categorización del riesgo de *Fasciola hepatica* para vacunos lecheros en base a las prevalencias encontradas en los distritos de Matahuasi y Baños.**

Riesgo	Prevalencia (%)
Bajo	$p \leq 20\%$
Moderado	$21\% \leq p \leq 50\%$
Alto	$p \geq 51\%$

Nota: p = Prevalencia

### 3.1.2 Cargas parasitarias (HPG)

En la Figura 7 se observan la distribución y promedio de cargas parasitarias mensuales (hpg) encontradas en ambos distritos.



**Figura 7: Distribución y promedio de cargas parasitarias de *Fasciola hepatica* (hpg) en vacunos muestreados mensualmente en las zonas de Matahuasi (a) y Baños (b).**

Nota: EPG = Eggs per gram (Huevos por gramo).

En Matahuasi, la distribución de cargas parasitarias por animal fue muy amplia; desde 0.5 hpg hasta 94.5 hpg. Los promedios de cargas parasitarias por mes de muestreo fueron: 3.25 hpg en febrero 2016, 5.73 hpg en julio 2016, 10.53 hpg en diciembre 2016, 8.13 hpg en febrero del 2017 y 8.55 en junio del 2017.

En Baños se encontraron cargas parasitarias desde 0.5 hpg hasta 27 hpg. Las cargas parasitarias promedio por mes fueron: 2.62 hpg, 4.92 hpg, 4.47 hpg, 2.18 hpg y 2.35 hpg en



los meses de febrero 2016, julio 2016, noviembre 2016, marzo 2017 y agosto 2017, respectivamente.

Podemos señalar que Matahuasi tuvo mayores cargas parasitarias promedio y de manera individual que los encontrados en Baños tanto en meses secos como de lluvias. Sin embargo, a nivel general ambos distritos mostraron cargas parasitarias bajas. Según Kassai (2002), se considera infecciones moderadas cuando los animales presentan cargas parasitarias de 25 hpg a más. En nuestras áreas de estudio, algunos animales individualmente mostraron cargas mayores a este valor, pero la mayoría no logró superarlo.

No obstante, los resultados encontrados en ambos distritos fueron superiores a los reportados en ganado vacuno de Cajamarca donde la carga parasitaria promedio fue de 2.5 hpg y el rango de 1 a 7.5 hpg (Ortiz *et al.*, 2013). En contraste, Chávez *et al.* (2010) reportaron un promedio de 16 hpg y un rango de cargas de 1 a 197 hpg en vacunos lecheros de Jauja; superiores a Baños y Matahuasi.

Los resultados sobre cargas parasitarias pudieron variar como consecuencia de muchos factores como el método de diagnóstico aplicado (si se logró evidenciar correctamente los huevos de *Fasciola hepatica* en las muestras de heces), la cantidad de parásitos adultos ubicados dentro de los canalículos biliares, y/o el momento de inicio y la intermitencia en la ovoposición de los parásitos adultos contra el momento de colecta de heces (Sierra *et al.*, 2017). Sin embargo, esta información puede ser de ayuda para saber el nivel de infección que los vacunos tienen y como va cambiando de acuerdo al tiempo.

## **3.2 Evaluación de factores ambientales de riesgo de *Fasciola hepatica***

### **3.2.1 Suelo**

#### **a. Clase textural, pH y salinidad**

Los resultados sobre el análisis de suelos (clase textural, pH y salinidad) encontrados en las áreas de pastoreo de los productores de los distritos de Matahuasi y Baños son presentados en la Tabla 6.

**Tabla 6: Resultados de la clase textural, pH y salinidad de los suelos de las áreas de pastoreo de los productores de Matahuasi y Baños.**

Área de estudio	Clase textural Denominación	Clase textural			pH	Salinidad (C.E dS/m)		
		A. (%)	L (%)	Ar. (%)				
Matahuasi	Franco arenoso	53- 61	28- 34	11- 13	Lig. alc.	7.52-7.54	M.L.S.	0.87-1.48
	Franco	49	38	13	Lig. alc.	7.51	M.L.S.	1.61
Baños	Franco	49	30	21	Neutro	6.97	M.L.S.	1.37
	Franco arenoso	61	21	11	Lig. alc.	7.43	M.L.S.	1.66
	Franco	39	40	21	Lig. alc.	7.67	M.L.S.	1.32

Nota: A. = Arena; L. = Limo; Ar. = Arcilla. Lig. Alc. = Ligeramente alcalino. M.L.S. = Muy ligeramente salino.

En la zona de Matahuasi, se encontraron suelos con clases texturales de franco y franco arenoso. Con respecto al pH, los rangos fueron entre 7.51 y 7.54, siendo considerados como ligeramente alcalinos. La salinidad en estos terrenos fue considerada muy ligeramente salina, con una conductividad eléctrica de 0.87 - 1.61 dS/m.

Por su parte, los suelos de la zona de Baños también fueron considerados como franco y franco arenoso, presentaron valores de pH entre 6.97 y 7.43 (valores ligeramente alcalinos) y su salinidad fue muy ligeramente salina con valores de conductividad eléctrica entre 1.37 y 1.66 dS/m.

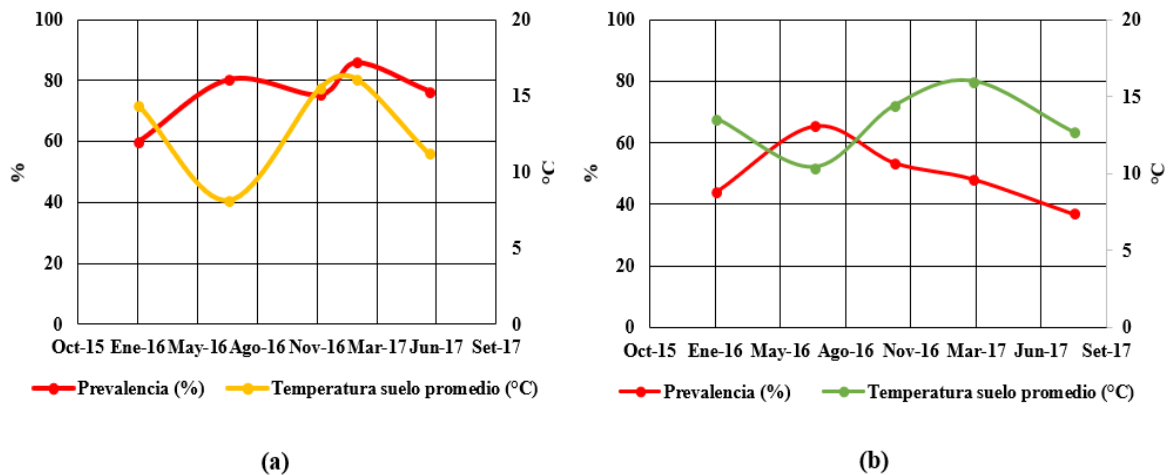
#### **b. Temperatura del suelo**

Las temperaturas del suelo mensuales promedio de las áreas de estudio en Matahuasi (a) y Baños (b), y las prevalencias mensuales se pueden apreciar en la Figura 8. Las temperaturas del suelo/por productor/por época de las zonas de Matahuasi y Baños; y las prevalencias/por productor/por época se observan en el Anexo 4.

En la zona de Matahuasi, las temperaturas promedio más altas del suelo se registraron en febrero del 2016 (14.4°C), febrero del 2017 (16.1°C); y diciembre del

2016 (15.5°C). En contraste, los meses de julio del 2016 (8.1°C) y junio del 2017 (11.2°C), mostraron bajas temperaturas. Cabe mencionar que a pesar de que en ciertos meses las temperaturas fueron bajas, las prevalencias de *F. hepatica* se mantuvieron altas.

En el área de Baños, las temperaturas promedio más altas del suelo se observaron en febrero del 2016 (13.6°C), noviembre del 2016 (14.4°C) y marzo del 2017 (16°C). Por otro lado, las temperaturas bajas se presentaron en julio 2016 (10.4°C) y agosto del 2017 (12.7°C). Al igual que en Matahuasi, en los meses con bajas temperaturas de suelo también se encontraron prevalencias moderadas a altas de *F. hepatica*.



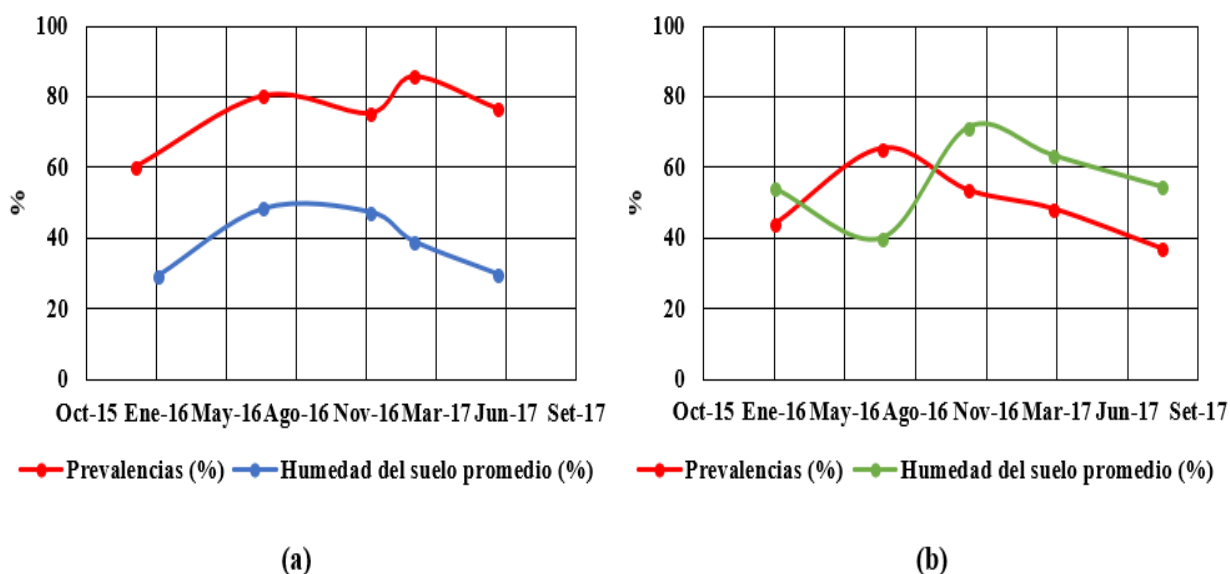
**Figura 8: Temperaturas de suelo promedio mensuales (°C) de las áreas de estudio en Matahuasi (a) y Baños (b), y las prevalencias mensuales de *Fasciola hepatica* (%).**

### c. Humedad del suelo

Los resultados de humedad del suelo promedio mensual en las zonas de estudio y las prevalencias mensuales se pueden observar en la Figura 9. Los valores de humedad del suelo/por productor/por época de las zonas de Matahuasi y Baños; y las prevalencias por productor/por época se observan en el Anexo 5.

Los meses que presentaron mayores porcentajes de humedad del suelo en las zonas de Matahuasi fueron julio del 2016 (48.5%), diciembre del 2016 (47.5%) y febrero del 2017 (39.2%). En dichos meses, las prevalencias también fueron altas, siendo la humedad del suelo uno de los factores probables que influyeron en estos resultados.

Incluso podría explicar la alta prevalencia que se registró en julio del 2016, a pesar de ser considerado un mes seco.



**Figura 9. Valores de humedad del suelo promedio mensuales (%) de las áreas de estudio en Matahuasi (a) y Baños (b), y las prevalencias mensuales *Fasciola hepatica* (%).**

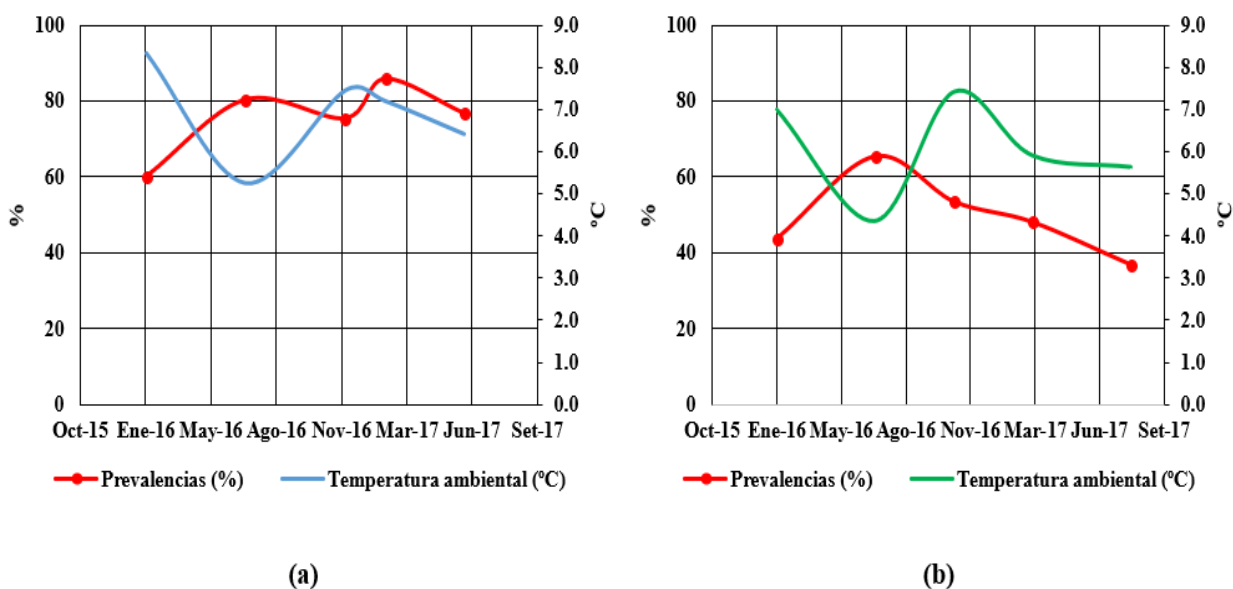
Por su parte, en la zona de Baños, los meses con mayor humedad promedio en el suelo fueron diciembre del 2016 (71.3%) y marzo del 2017 (63.3%). El resto de meses, presentaron porcentajes de humedad inferiores a los meses mencionados previamente, destacando julio del 2016 (40%). En este caso, solamente hubo una relación directa con las prevalencias mensuales a partir de diciembre del 2016, donde la humedad y las prevalencias empezaron a decrecer hasta agosto del 2017.

### 3.2.2 Temperatura ambiental mensual (°C)

Las temperaturas ambientales promedio mensual en las zonas de Matahuasi y Baños; y las prevalencias mensuales de *F. hepatica* se describen en la Figura 10, mientras que las temperaturas ambientales mensuales/por productor/por época de las zonas de Matahuasi y Baños; y las prevalencias/por productor/por época se observan en el Anexo 6.

En Matahuasi, las temperaturas promedio mensual fueron superiores en febrero del 2016 (8.4°C), diciembre del 2016 (7.5°C) y febrero del 2017 (7.2°C); mientras que en julio del 2016 y junio del 2017, las temperaturas fueron menores (5°C y 6.4°C, respectivamente).

En Baños, las temperaturas promedio mensual fueron mayores en febrero del 2016 (7°C), noviembre del 2016 (7.4°C) y marzo del 2017 (5.9°C). En julio del 2016 (4.4°C) y agosto del 2017 (5.6°C), las temperaturas fueron menores que los otros meses mencionados.



**Figura 10: Temperaturas ambientales promedio mensuales (°C) de las áreas de estudio en Matahuasi (a) y Baños (b), y las prevalencias mensuales *Fasciola hepatica* (%).**

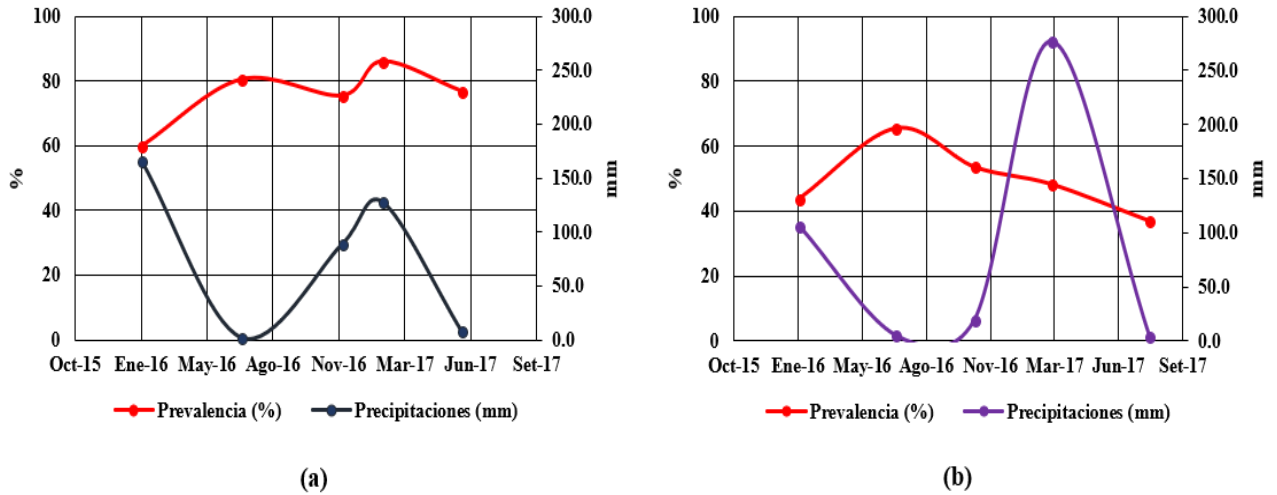
### 3.2.3 Precipitación mensual (mm)

Las precipitaciones mensuales promedio en las zonas de Matahuasi y Baños se registran en la Figura 11, mientras que las precipitaciones mensuales/por productor/por época de las zonas de Matahuasi y Baños; y las prevalencias/por productor/por época se observan en el Anexo 7.

En Matahuasi, las precipitaciones promedio fueron superiores en febrero del 2016 (165.7 mm/mes), diciembre del 2016 (88.5 mm/mes) y febrero del 2017 (127.6 mm/mes); mientras que en julio del 2016 y junio del 2017, las precipitaciones fueron mínimas (2.4 y 7.8 mm/mes, respectivamente).

En Baños, las precipitaciones promedio fueron mayores en febrero del 2016 (106.3 mm/mes) y marzo del 2017 (276.7 mm/mes). En julio del 2016 (5 mm/mes), noviembre del 2016 (19.7 mm/mes) y agosto del 2017 (4.9 mm/mes), las precipitaciones fueron escasas en esta zona.

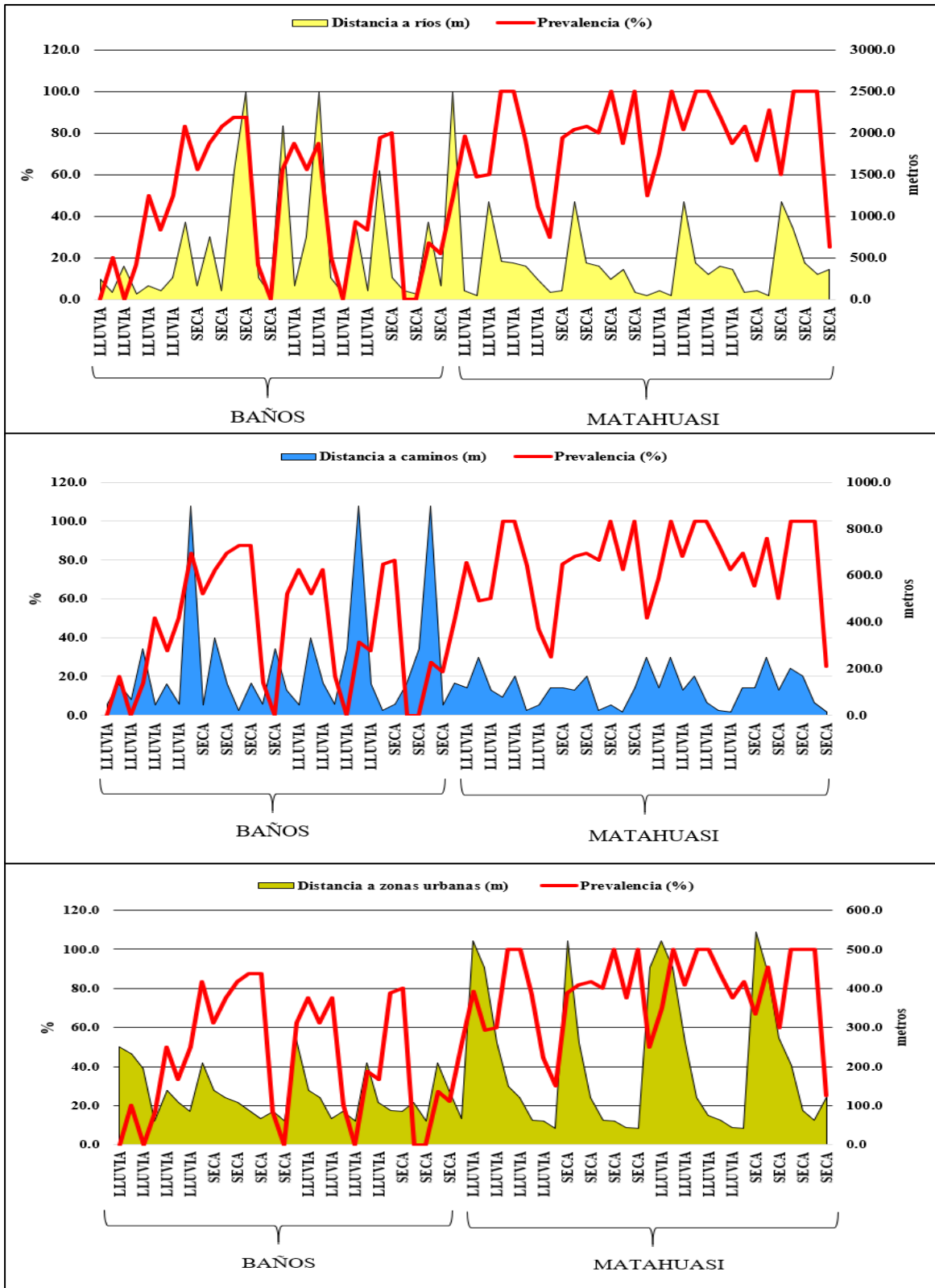
Los resultados de precipitación promedio por mes reflejan claramente la estacionalidad que existe en áreas de la sierra central, con excepción del mes de noviembre del 2016 en Baños, donde se mostró bajas precipitaciones a pesar de ser considerado como un mes de lluvias.



**Figura 11: Precipitación promedio mensual de las áreas de estudio en Matahuasi (a) y Baños (b), y las prevalencias mensuales *Fasciola hepatica* (%).**

### 3.2.4 Distancias (m)

Las imágenes de las distancias hacia ríos, zonas urbanas y caminos de las áreas de Matahuasi y Baños se observan en el Anexo 8; mientras que en la Figura 12, se observan las distancias hacia ríos, caminos y zonas urbanas por épocas en Baños y Matahuasi; y las prevalencias por épocas. Estas variables fueron consideradas para observar si tuvieron alguna influencia en la distribución de *Fasciola hepatica* en las áreas de estudio.



**Figura 12:** Distancia hacia ríos, caminos y zonas urbanas/por épocas/por productor en las zonas de Baños y Matahuasi, y las prevalencias de *F. hepatica* (%) /por épocas/por productor.

### 3.2.5 Elevación (msnm)

La información sobre elevación (msnm) de ambas zonas de estudio/por época/por productor y las prevalencias/por época/por productor se muestran en la Figura 13; mientras que las imágenes satelitales sobre la elevación (msnm) en Baños y Matahuasi se muestran en el Anexo 9.

En el caso de las elevaciones en las zonas de pastoreo en Matahuasi, las alturas estuvieron en un rango desde los 3300 hasta los 3338 msnm, es decir, la variabilidad entre zonas de estudio con respecto a la elevación fue escasa. Por otro lado, en las áreas de pastoreo evaluadas en Baños, se encontró alturas entre los 3400 y los 3987 msnm, mostrando mayor variabilidad.

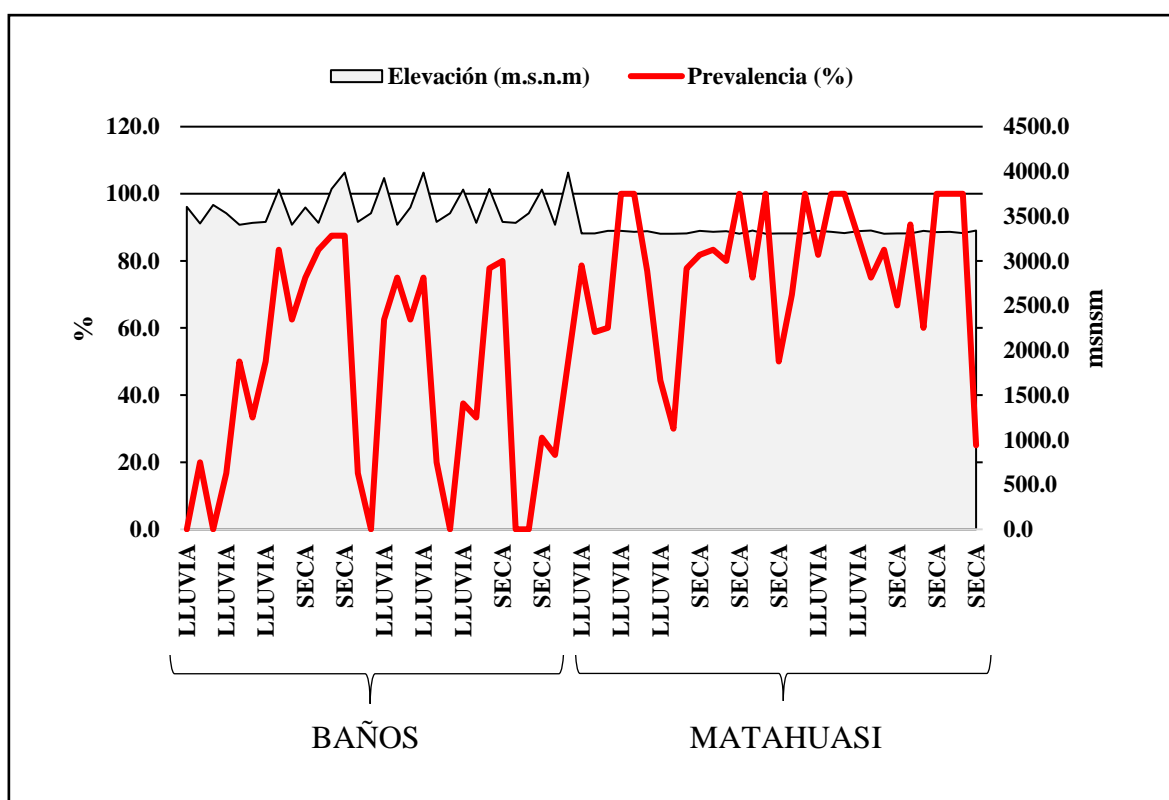


Figura 13: Datos sobre elevación (msnm) /por época/por productor y las prevalencias de *Fasciola hepatica* (%) /por época/por productor en Baños y Matahuasi.





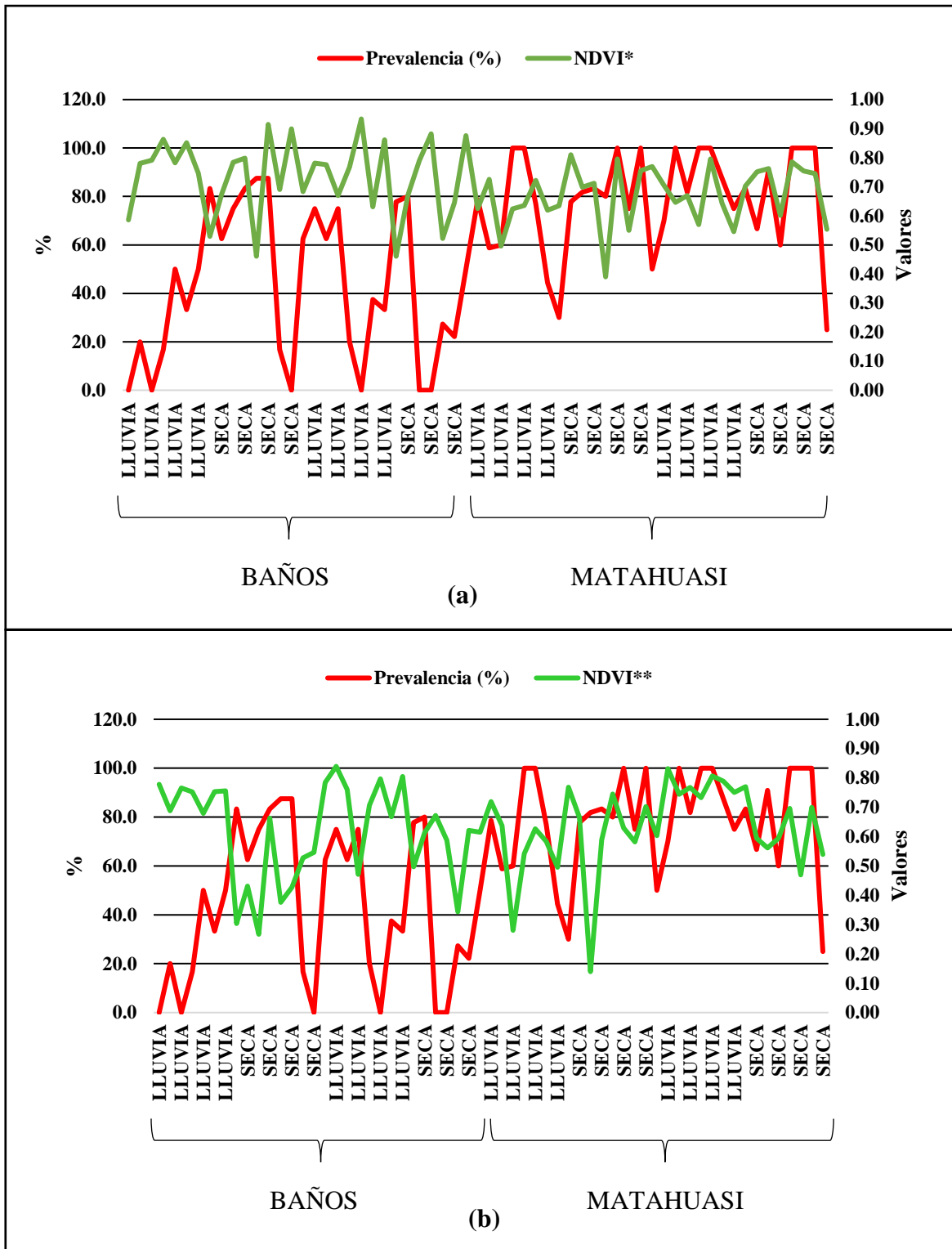
### 3.2.7 Índices de vegetación

#### a. NDVI

En la Figura 15, se observan las prevalencias/por productor/por época y los valores de NDVI/por productor/por época de ambas áreas de estudio extraídos desde imágenes Landsat 8 y desde imágenes Sentinel 2. Las imágenes satelitales sobre los valores de NDVI extraídos desde Landsat 8 se muestran en el Anexo 11, y las extraídas desde Sentinel 2; en el Anexo 12.

Los valores de NDVI extraídos desde imágenes Landsat 8 fueron mayores en los periodos de lluvia en Baños, y en Matahuasi no hubo diferencias entre épocas. Estos valores altos de NDVI en épocas de lluvia reflejarían la influencia de las lluvias y otros factores ambientales en la cantidad de vegetación, que se manifiesta mediante las imágenes al tener mayor verdor. En contraste, en los meses secos, los valores fueron menores. Con respecto a los rangos de NDVI, en Baños variaron entre 0.46 y 0.93, mientras que en Matahuasi, entre 0.39 y 0.80.

En el caso de los valores de NDVI extraídos desde las imágenes Sentinel 2, éstos fueron mayores en épocas de lluvia tanto en Matahuasi como en Baños. La explicación sería la misma que en el caso anterior. Los rangos de NDVI en Matahuasi variaron entre 0.14 y 0.83. Por otro lado, en Baños, los valores resultaron entre 0.27 y 0.84.



**Figura 15: Prevalencias de *Fasciola hepatica* (%) /por productor/por época y valores de NDVI/por productor/por época de Matahuasi y Baños extraídos desde imágenes Landsat 8 (a) y desde imágenes Sentinel 2 (b).**

Al comparar los resultados de acuerdo a la fuente de extracción, los valores de NDVI extraídos desde imágenes Sentinel 2 mostraron una mayor dispersión que los extraídos desde imágenes Landsat 8. Sin embargo, la tendencia fue similar de acuerdo a las épocas del año.

#### **b. EVI**

Las prevalencias/por productor/por época y los valores de EVI/por productor/por época de ambas áreas de estudio extraídos desde imágenes Landsat 8 y desde imágenes Sentinel 2 se observan en la Figura 16. Las imágenes satelitales sobre los valores de EVI extraídos desde Landsat 8 se muestran en el Anexo 13, y las extraídas desde Sentinel 2; en el Anexo 14.

Los valores de EVI extraídos desde imágenes Landsat 8 fueron mayores en los periodos de lluvia en Baños, y en Matahuasi no hubo diferencias entre épocas, excepto en los meses secos del 2016, donde mostraron bajos valores. Con respecto a los rangos de EVI, en Baños variaron entre 0.32 y 0.94, mientras que en Matahuasi, entre 0.28 y 0.72.

En el caso de los valores de EVI extraídos desde las imágenes Sentinel 2, éstos fueron mayores en épocas de lluvia tanto en Matahuasi como en Baños, y bajos en los meses secos. Esto confirmaría la relación directa entre el índice EVI y la estacionalidad de las lluvias. Los rangos de EVI en Matahuasi variaron entre 0.06 y 0.85; y en Baños, entre 0.27 y 0.84. Cuando comparamos los resultados de acuerdo a la fuente de extracción, los valores de EVI extraídos desde imágenes Sentinel 2 mostraron una mayor dispersión que los extraídos desde imágenes Landsat 8.

Así mismo, la tendencia de los de los índices EVI de Sentinel 2 fue evidentemente influenciada por la estacionalidad (lluvias y seca) tanto en Baños como en Matahuasi; mientras que en los índices de EVI de Landsat 8, no se apreció dicho comportamiento, menos aún en Matahuasi.

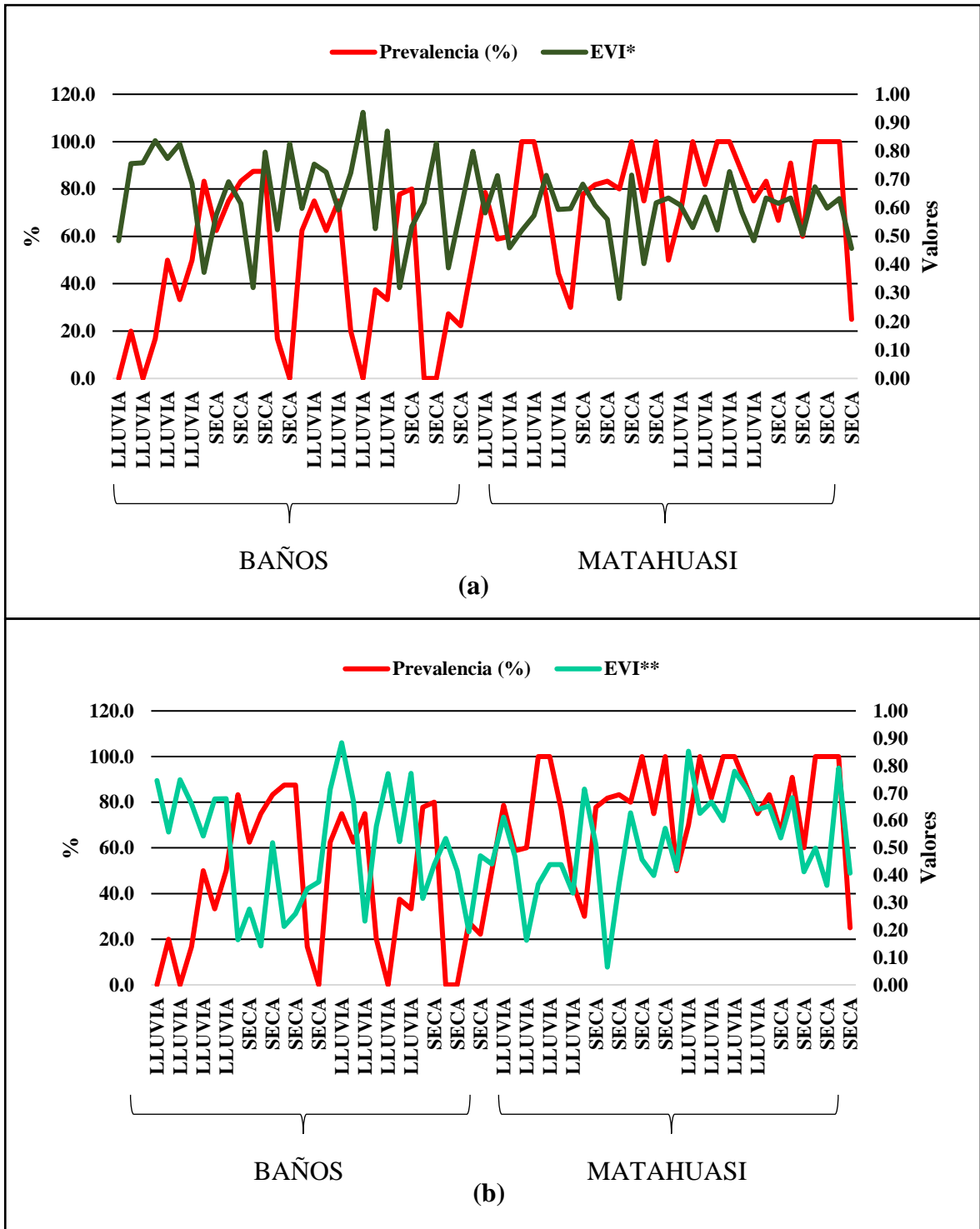


Figura 16: Prevalencias de *Fasciola hepatica* (%) /por productor/por época y valores de EVI/por productor/por época de Matahuasi y Baños extraídos desde imágenes Landsat 8 (a) y desde imágenes Sentinel 2 (b).

### 3.2.8 Índice de agua

#### c. NDWI

Las prevalencias/por productor/por época y los valores de NDWI/por productor/por época de ambas áreas de estudio extraídos desde imágenes Landsat 8 y desde imágenes Sentinel 2 se observan en la Figura 17.

Las imágenes satelitales sobre los valores de NDWI extraídos desde Landsat 8 se muestran en el Anexo 15, y las extraídas desde Sentinel 2; en el Anexo 16.

En primera estancia, la información de NDWI extraída tanto de Landsat 8, como de Sentinel 2, mostraron valores negativos. Esto no denotaría falta de humedad en esas zonas ya que incluso los valores de NDWI en los ríos fueron bajos (-0.2 hasta -0.14). Estos valores podrían explicarse debido a que este índice no remueve por completo el efecto del suelo, y este factor contribuye mayor negatividad al valor de la reflectancia (Gao, 1996). En otros trabajos también se pueden apreciar que los valores de NDWI en zonas con humedales varían desde -0.5 hasta 0 (Gao, 1996; De Roeck *et al.*, 2014).

Los valores de NDWI extraídos desde imágenes Landsat 8 fueron independientes a la época y a la zona de estudio, es decir, no hubo diferencias entre periodos húmedos y secos, ni tampoco entre Baños y Matahuasi. Los rangos de NDWI en Baños variaron entre -0.79 y -0.50, mientras que en Matahuasi, entre -0.77 y -0.40.

En el caso de los valores de NDWI extraídos desde las imágenes Sentinel 2, tampoco se encontraron diferencias entre las épocas del año o entre áreas de estudio. Los rangos de NDWI en Matahuasi variaron entre -0.72 y -0.26; y en Baños, entre -0.72 y -0.37.

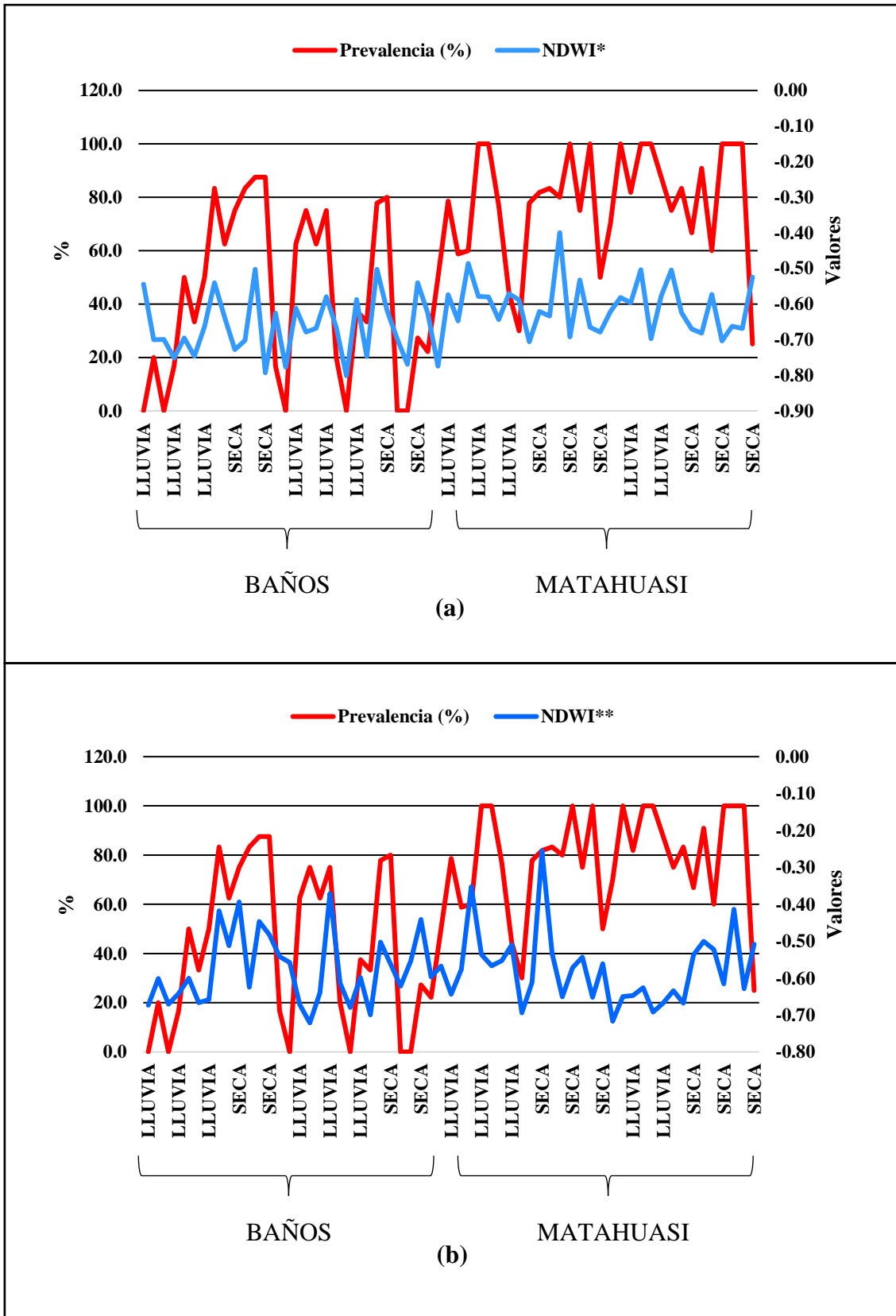


Figura 17: Prevalencias de *Fasciola hepatica* (%) /por productor/por época y valores de NDWI/por productor/por época de Matahuasi y Baños extraídos desde imágenes Landsat 8 (a) y desde imágenes Sentinel 2 (b).

Cuando comparamos los resultados de acuerdo a la fuente de extracción, los valores de NDWI extraídos desde imágenes Sentinel 2 mostraron una mayor dispersión que los extraídos desde imágenes Landsat 8. Se concluye que los índices obtenidos desde imágenes Sentinel 2 (NDVI, EVI y NDWI) tuvieron un comportamiento similar con respecto a la dispersión, pudiendo indicar que la sensibilidad de estas imágenes es mayor a las imágenes Landsat 8.

### **3.3 Relación entre los factores ambientales y climáticos con las prevalencias de *Fasciola hepatica***

Según los resultados de prevalencias mensuales encontradas en los distritos de Baños y Matahuasi observadas, durante el año 2016, en ambas zonas, las prevalencias en época seca (mes de julio) fueron superiores frente a los meses de época de lluvia (febrero, noviembre y diciembre). Sin embargo, para el año 2017, en ambas áreas de estudio, las prevalencias de las épocas de lluvia (febrero y marzo) fueron más altas que en las épocas secas (junio y agosto). No obstante, las prevalencias para ambas áreas y en ambas épocas no dejaron de ser considerables. Estos hallazgos, sobre todo los del año 2016, se contradicen con lo reportado por Rojas (2004), quien sostiene que la presencia de *F. hepatica* en nuestro país se da con mayor intensidad entre los meses de noviembre – marzo, es decir, en las épocas de lluvias, mientras que en los meses de junio – septiembre (épocas secas), disminuye.

Para explicar el comportamiento de estas prevalencias, se evaluó la influencia de las variables climáticas y ambientales citadas previamente. Los resultados de las temperaturas ambientales promedio al parecer no influyeron en las altas prevalencias de *Fasciola hepatica* en ambos distritos encontradas durante épocas secas; ya que fueron acordes a la estacionalidad que presenta la sierra central de nuestro país (altas temperaturas durante los meses de lluvia y bajas temperaturas durante los meses secos). Muchos estudios sostienen que la temperatura es un factor importante para la supervivencia de las fases larvarias de *F. hepatica* que se desarrollan en el ambiente, sobre todo aquellas temperaturas iguales o superiores a los 10°C (Ayele, 2016; Páucar, 2008; Rojas, 2004; Olsen *et al.*, 2015). Según Torgerson y Claxton (1999), cuando las temperaturas aumentan, el tiempo de desarrollo de los huevos de *F. hepatica* y de las formas de los caracoles limneidos se reducen. Sin embargo, las temperaturas tendrían un efecto contrario sobre las metacercarias (forma infectante), ya que cuando las temperaturas aumentan, el tiempo de supervivencia de estas



formas en el ambiente disminuyen, siendo el rango óptimo adecuado entre los 5°C y 15°C (Boray, 1969). Según lo citado, las temperaturas del suelo promedio podrían explicar mejor la situación de las prevalencias. A pesar de que tuvieron las mismas tendencias que las temperaturas ambientales promedio, los valores de las temperaturas del suelo fueron superiores (entre 9°C y 16°C, en ambos distritos), incluso durante los meses secos, predisponiendo la supervivencia de la forma infectiva. Las diferencias entre las temperaturas ambientales y las del suelo se deberían a que el clima de la sierra central se caracteriza por tener temperaturas variables durante el día, ya que pueden ser mínimas durante la noche (temperaturas entre los 2°C hasta 8°C), y máximas durante el día (temperaturas entre los 20°C hasta 25°C) tanto en épocas de lluvia como de seca.

Por otro lado, los resultados de las precipitaciones promedio tampoco influyeron en las prevalencias de *F. hepatica* en ambos distritos durante las épocas secas ya que, al igual que las temperaturas ambientales, las lluvias fueron acordes a la estacionalidad que presenta la sierra central, salvo en el mes de noviembre del 2016 en Baños. Así mismo, no tendrían relación con los valores de humedad del suelo promedio reportados previamente.

Los resultados de humedad del suelo fueron distintos entre las áreas de estudio con respecto a las prevalencias de *F. hepatica*. Mientras que en Matahuasi hubo una relación directa entre las prevalencias y la humedad del suelo en todos los meses evaluados, en Baños solamente fue desde diciembre del 2016 hasta agosto del 2017. Sin embargo, los valores de humedad de suelo encontrados en Baños siempre fueron superiores a los de Matahuasi. Incluso el menor valor de humedad de suelo en Baños (40%) fue semejante a uno de los altos valores que presentó Matahuasi (39.2%). Cruz-Mendoza *et al.* (2005), encontraron que cuando los valores de humedad de los suelos eran entre 18.5% y 55%, tanto la prevalencia de *F. hepatica* como la presencia de los caracoles limneidos decrecían en comparación con suelos que mostraron mayores porcentajes de humedad. Estos resultados difieren con los encontrados en el presente estudio, debido a que a pesar de que Baños mostró valores de humedad de suelo superiores a Matahuasi (mayores a 55%), las prevalencias fueron menores.

Hasta este punto, los valores de humedad y temperatura del suelo al parecer habrían influenciado en los resultados de las prevalencias encontradas durante los meses secos. Estos valores se explicarían de acuerdo a otros factores ambientales o de manejo del hato o pasturas (Bennema *et al.*, 2011). Entre esos otros factores ambientales, los índices de vegetación

(NDVI y EVI) y de agua (NDWI) brindarían información adicional sobre las condiciones de las pasturas y su influencia en la presencia de *Fasciola hepatica* en las áreas de estudio.

La relación entre las prevalencias de *F. hepatica* y los valores de NDVI y EVI en las áreas de estudio aparentemente fue inversa en algunas zonas de pastoreo, más aún en el distrito de Baños. Cuando las prevalencias fueron moderadas o altas, los valores de NDVI fueron más bajos que cuando las prevalencias fueron bajas. En contraste con lo hallado, algunos autores señalan que la asociación positiva entre los valores de NDVI y la fasciolosis bovina se explicaría por la cantidad de humedad que existe en los pastos y/o pastizales. Cuando ciertas zonas de pastoreo muestran valores altos de NDVI, la humedad que estas áreas poseen también es alta, ya que este factor permitiría el crecimiento de la vegetación y en los sensores remotos se representarían con mayor verdor (Ceccato, 2010). Fuentes *et al.* (2001), encontraron que los valores de NDVI y la prevalencia de *Fasciola hepatica* en humanos tuvieron una asociación significativa positiva, por lo cual, establecieron que no hay riesgo cuando los valores de NDVI son menores que 0.3, bajo riesgo cuando los valores de NDVI son entre 0.3 y 0.34 con prevalencias menores del 10%, y alto riesgo cuando el NDVI es mayor que 0.34 y con prevalencias de más del 20%. Considerando esta información, podemos señalar que los valores de NDVI y EVI encontrados en Baños y Matahuasi, tanto en meses secos como húmedos, no podrían ser considerados bajos, ya que la mayoría de ellos fueron superiores a 0.34, indicando que tal vez los valores de NDVI fueron de por sí altos durante los años de evaluación.

A diferencia de los índices de vegetación, la relación entre las prevalencias de *F. hepatica* y los valores de NDWI fue directa en la mayoría de las zonas de pastoreo. Cuando los valores de NDWI fueron altos, las prevalencias también se mostraron moderadas o altas. Esto nos indicaría que este índice no estaría asociado positivamente con los índices de vegetación, ni tampoco con los regímenes de precipitación o temperatura. Por el contrario, este índice indicaría con mejor precisión la formación de cuerpos de agua o charcos que se generaron en las zonas de pastoreo de las áreas de estudio. Si en dichas zonas se encontraron valores altos de NDWI y de prevalencias durante los meses secos, esto podría atribuirse a la formación de estanques naturales o cuerpos de agua que brindarían las condiciones necesarias de humedad para la supervivencia y el desarrollo del parásito y de su hospedero intermediario. Según De Roeck *et al.* (2014), el uso de índices de agua como el NDWI puede ser muy útil en investigaciones sobre parasitología, ya que localizaría las zonas de riesgo de

acuerdo al nivel de humedad, siendo éste un factor importante para el desarrollo del ciclo de vida de los parásitos y de los caracoles limneidos.

La presencia de cuerpos de agua y altas humedades durante las épocas secas constatadas por los resultados de humedad del suelo, los valores de los índices de vegetación (NDVI y EVI) y el índice de agua (NDWI) pueden ser explicados debido a factores de manejo de los pastos y de los animales. El riego de las pasturas tanto en Baños como en Matahuasi es una práctica muy común, utilizada para mejorar las condiciones de la vegetación que, en la mayoría de los casos, son pastos cultivados. Estas pasturas, como fuente principal de alimento para el ganado vacuno, reducen su productividad durante los meses secos debido a la ausencia de lluvias. A consecuencia de ello, los productores deben implementar el uso de riego, sobre todo durante los meses sin precipitaciones, para evitar la escasez de pasturas. Los tipos de riego observados durante las visitas a ambos distritos fueron el riego tecnificado y el riego por inundación. La irrigación de las zonas de pastoreo puede ser considerada un factor de transmisión de fasciolosis bovina muy importante (McCann *et al.*, 2010; Durr *et al.*, 2005) debido a que explicaría la formación de cuerpos de agua en las zonas de pastoreo, o la construcción de canales o diques pasarían a ser posibles hábitats para los caracoles, los cuales teniendo las condiciones necesarias para su supervivencia, lograrían ser transmisores de la enfermedad durante todo el año (Fuentes *et al.*, 2001; Olaechea, 2004).

Por otro lado, otra explicación de las altas y moderadas prevalencias de *Fasciola hepatica* en ambos distritos durante épocas secas, tendría que ver con el manejo del hato lechero. Si bien es cierto que los animales evaluados en el presente trabajo no debieron haber recibido ningún tipo de dosificación previamente al muestreo, puede que algunos productores no hayan reportado adecuadamente dicho manejo y hayan dosificado a sus animales durante las épocas de lluvias, meses donde se recomiendan dosificar en base a la estacionalidad climática (Rojas, 2004), provocando que las prevalencias reportadas durante los meses de lluvia hayan sido menores a los meses de seca. Sin embargo, las diferencias entre las prevalencias de ambas épocas del año no son abismales, y los valores de prevalencias son considerados como altos durante todo el año, más aún en Matahuasi. Incluso si este manejo se haya aplicado durante los meses de lluvia, podría indicarse de un problema de resistencia antihelmíntica frente a los antiparasitarios utilizados en esas zonas, debido a que las prevalencias durante esos meses indicarían aún la presencia del parásito en los vacunos dosificados. En nuestro país ya existen reportes de resistencia antihelmíntica en ganado

vacuno al triclabendazol y albendazol en regiones de la sierra central (Chávez *et al.*, 2012; Ortiz *et al.*, 2013), sin embargo, en las zonas del presente estudio no se podría afirmar esta situación debido a que no fue considerado como un objetivo de investigación.

En adición a estos factores, se evaluaron las variables geográficas para complementar los hallazgos expuestos. La relación directa entre las prevalencias y la distancia hacia zonas urbanas solamente se observó en los meses de lluvia del 2016 en Matahuasi. Cuando las distancias hacia zonas urbanas fueron mayores (más de 120 metros de distancia), las prevalencias fueron moderadas o altas. Las otras épocas no mostraron dicha relación. En Baños tampoco se observó dicho comportamiento. Con respecto a las distancias hacia caminos (carreteras), la relación con las prevalencias fue inversa en las épocas de lluvia y seca en Matahuasi; y en los meses secos del 2017 en Baños. Hubo prevalencias moderadas y altas en zonas de pastoreo ubicados cerca de los caminos.

Tanto las distancias hacia zonas urbanas como hacia caminos no han sido consideradas como factores de riesgo en investigaciones previas. Según nuestros resultados, las zonas donde pastoreaban los animales tuvieron mayor disponibilidad de albergar al parásito cuando estaban distantes de las zonas urbanas. Esto podría ocurrir debido a que son pocos los productores que tienen sus áreas de pastoreo cerca de sus casas o simplemente las parcelas cercanas las utilizan para otros fines (producción agrícola); y que la mayoría tienen que recorrer largas distancias para llevar a sus animales a pastorear. En contraste, la explicación acerca de por qué hubo mayores prevalencias en zonas cercanas a los caminos probablemente sea porque la mayoría de las áreas de pastoreo se encuentran al lado de las carreteras y caminos en las áreas de estudio evaluadas en este trabajo. La proximidad entre las zonas de pastoreo y los caminos, permitiría un adecuado transporte del ganado hacia los pastos para que puedan alimentarse.

La distancia hacia ríos tuvo una relación directa con las prevalencias, es decir, hubo mayores prevalencias en las zonas alejadas de los ríos. La razón de este resultado fue que, probablemente, los productores que pastorean a sus animales cerca de los ríos fueron pocos, ya sea porque no hay disponibilidad de suelos aptos para el cultivo de pastos o simplemente porque no tienen tierras ubicadas cerca de los ríos. Los resultados encontrados difieren con lo expuesto por Tum *et al.* (2004), quienes consideraron a la distancia hacia ríos como un factor de riesgo de fasciolosis bovina, ya que podría brindar un hábitat adecuado para que

los caracoles puedan reproducirse y acelerar su crecimiento poblacional, así como también del parásito (Massote *et al.*, 2016). Los autores otorgaron a la distancia un peso relativo de 1 (en un rango de 1 a 3) como factor determinante y categorizaron el riesgo de acuerdo a los metros de distancia del río: bajo riesgo (más de 100 metros del río) y moderado riesgo (a menos de 100 metros del río).

No obstante, Howell *et al.* (2015), en su trabajo sobre impacto y epidemiología de *Fasciola hepatica* en ganado lechero, consideró el acceso a ríos, estanques y charcos como una variable de manejo de las granjas, sin embargo, no encontró una interacción significativa al realizar una regresión lineal entre esta variable y la exposición a fasciolosis bovina.

Más allá de la localización de las zonas de pastoreo frente a las zonas urbanas, carreteras y ríos, las características del suelo brindarían mayor información sobre su influencia directa en la presencia de *Fasciola hepatica*. En ambas zonas de estudio se presentaron clases texturales similares, tanto texturas medianas (suelos francos) como gruesas (francos arenosos). El tipo de suelo es un factor importante en la exposición de *F. hepatica*, ya que determina el medio adecuado para que puedan desarrollarse y completar su ciclo (Selemetas *et al.*, 2014). Algunos autores han encontrado que los suelos arenosos finos tienen una gran relación con la presencia del parásito, siendo considerados como un factor predictor positivo; ya que dichos suelos presentan un drenaje deficiente, permitiendo la acumulación de agua y, por ende, las condiciones necesarias para *F. hepatica* y su hospedero intermediario (Howell *et al.*, 2015; McCann *et al.*, 2010). Estos reportes concuerdan con los resultados encontrados en este estudio, ya que los suelos franco arenosos y francos poseen altos porcentajes de arena. Así mismo, estas texturas de suelo serían las que poseen las áreas de pastoreo que estuvieron lejanas a las zonas urbanas y a los ríos. No obstante, Bennema *et al.* (2011), encontraron que los suelos arenoso-arcillosos tuvieron una asociación positiva como predictor de fasciolosis bovina, mientras que los suelos arenosos fueron considerados como un factor predictor negativo. Esta contradicción sugiere que se realicen mayores estudios sobre la asociación de la textura del suelo y la presencia de *F. hepatica*.

Los rangos de pH encontrados en ambos distritos son propicios para la supervivencia de los estadios larvarios del parásito y de su hospedero intermediario. Rangos de pH entre 4.2 a 9 permiten la plena reproducción del parásito y ayuda a la incubación de los huevos; y así mismo, crea un hábitat ideal para los caracoles (Ayele, 2016). Del mismo modo, autores

como Selemetas *et al.* (2015b) y McCann *et al.* (2010) reportaron al pH del suelo como un buen predictor de fasciolosis bovina en sus estudios.

Con respecto a la salinidad, en ambas zonas presentaron suelos muy ligeramente salinos. La salinidad es un factor químico del medio importante para los caracoles limneidos y los estadios larvarios de *F. hepatica*. Se ha reportado que cuando los niveles de salinidad son bajos, la capacidad del miracidio para localizar a los caracoles no se ve alterada. A medida que aumenta la salinidad, la capacidad se ve reducida. Esto se explicaría debido a que la motilidad y duración de vida del parásito y de los caracoles se ven afectados por el aumento de salinidad en el ambiente (Christensen *et al.*, 1978). La incubabilidad y el periodo embrionario de los huevos de *F. hepatica* también se ven alterados si los niveles de salinidad en los suelos son muy altos (Styczynska-Jurewicz, 1965).

Continuando con la evaluación de factores geográficos, los resultados sobre la elevación del terreno en las áreas de pastoreo evaluadas mostraron que, a mayor altitud de la zona, menor fue la prevalencia de *F. hepatica*. Estos resultados estarían relacionados a que en esas elevaciones existen altos rangos de evaporación de la humedad del suelo, bajas temperaturas y que las zonas montañosas obstaculizarían la formación de charcos, considerándose entonces una variable que se asocia negativamente con la infección (Kuerpick *et al.*, 2013; Dutra *et al.*, 2010; Bennema *et al.*, 2011).

Sin embargo, cabe destacar que nuestras zonas de estudios se encuentran dentro de los 3000 a 4000 m.s.n.m. y se presenta una prevalencia de infección de *Fasciola hepatica* considerable. Estos resultados se fundamentan con los trabajos de Mas-Coma *et al.* (2001), Valencia-López *et al.* (2012) y Mas-Coma *et al.* (2008) los cuales muestran que incluso regiones muy altas (entre los 2000 y 4100 msnm) son consideradas como zonas hiperendémicas de fasciolosis hepática y que el motivo principal podría ser que el parásito ha desarrollado estrategias de supervivencia en altura como el aumento de periodos de producción de cercarias y una mayor producción de cercarias por caracol, lo que al mismo tiempo implica que el caracol también haya tomado medidas de supervivencia en esas zonas.

Con respecto a la pendiente, la relación entre esta variable y las prevalencias del parásito fue inversa, es decir, las zonas de pastoreo con mayor pendiente, mostraron bajas prevalencias de *F. hepatica*. Estos resultados coinciden con aquellos encontrados por McCann *et al.*

(2010) durante el desarrollo de un modelo de regresión lineal usando variables ambientales para explicar la distribución espacial de la infección de *Fasciola hepatica* en ganado lechero; donde sostiene que la pendiente es un predictor negativo, ya que mientras mayor pendiente tengan los suelos, mejor drenaje tendrán, lo cual es favorable para evitar la acumulación de humedad y darles las condiciones necesarias para que las fases larvarias del parásito y su hospedador intermediario continúen su ciclo.

Sin embargo, Yilma y Malone *et al.* (1998) en su trabajo sobre un modelo de pronóstico en base a los SIG para el control estratégico de fasciolosis en Etiopia; sostuvo que la pendiente es una variable que se asocia positivamente, ya que alega que, en zonas con pendientes altas, existen excedentes de agua. Otro estudio realizado sobre la importancia de los factores ambientales, meteorológicos y de manejo en la distribución de fasciolosis bovina en ganado lechero; indicó que la pendiente se asocia positivamente con la infección del parásito debido a que el agua se colecta en áreas bajas de las montañas formando estanques y charcos (Bennema *et al.*, 2011).

### **3.4 Desarrollo de modelo predictivo de Fasciolosis hepática en vacunos lecheros de la sierra central del Perú**

#### **3.4.1 Modelos estadísticos**

Los modelos fueron creados a partir de la interacción de las variables climáticas-ambientales y la clasificación del riesgo de *Fasciola hepatica*. Las variables que finalmente ingresaron en los modelos fueron: Riesgo de *F. hepatica* (alto, moderado, bajo) como variable dependiente y temperatura ambiental, precipitaciones, distancias (hacia ríos, zonas urbanas y caminos), pendientes, elevación, índices de NDVI, EVI y NDWI (extraídos de imágenes Landsat 8 y Sentinel 2) como variables independientes. Las características del suelo como la temperatura, humedad, pH, textura y salinidad no pudieron ser incluidos como variables en los modelos debido a que no se tenía la información necesaria de toda el área de estudio (en formato de imágenes satelitales o mapas digitalizados) y solamente se obtuvieron de las parcelas de pastoreo muestreadas. Así mismo, el realizar análisis químicos y físicos de los suelos en los distintos puntos de las áreas de estudio hubieran sido muy costosas y difíciles de realizar. Los factores ambientales y climáticos y sus valores utilizados en los modelos estadísticos se encuentran en el Anexo 17. Los modelos fueron seleccionados de acuerdo al

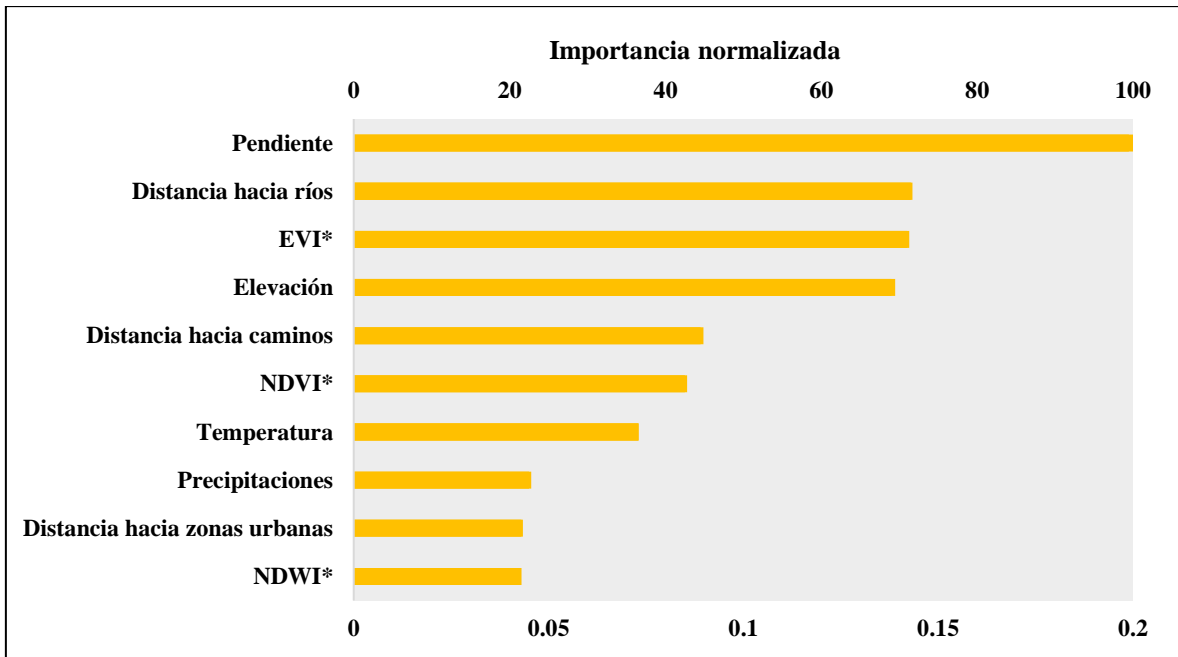
coeficiente de Kappa ( $k \geq 0.6$ ) como medida de aceptabilidad cuando el modelo predictor de riesgo concuerde con los niveles de riesgo en base a las prevalencias encontradas en campo.

Las redes neuronales como enfoque para la elaboración de modelos de riesgo fueron una buena opción para observar las asociaciones entre las variables independientes y dependientes. A pesar que hasta la fecha solo se tenga una referencia del uso de estas redes relacionada a la infección de *Fasciola hepatica* y su relación con variables zootécnicas (Sánchez, 2016), este enfoque puede otorgarnos modelos óptimos que reflejen mejor la estructura de las interrelaciones entre las variables y destacar aquellas que tienen mejor condición predictiva (Pitarque *et al.*, 1998).

El modelo 1 fue construido a partir de redes neuronales con dos capas ocultas y una capa de salida, y presentó un porcentaje de entrenamiento de 85.4%, y de prueba; 70%, lo cual fue aceptable. Estos resultados se pueden apreciar gráficamente en el Anexo 18. Este modelo tuvo un coeficiente de Kappa de 0.6 lo cual lo hace electo como modelo de predicción (gráfico observado en el Anexo 19). Las variables independientes que estuvieron involucradas en el modelo son expresadas en la Figura 18.

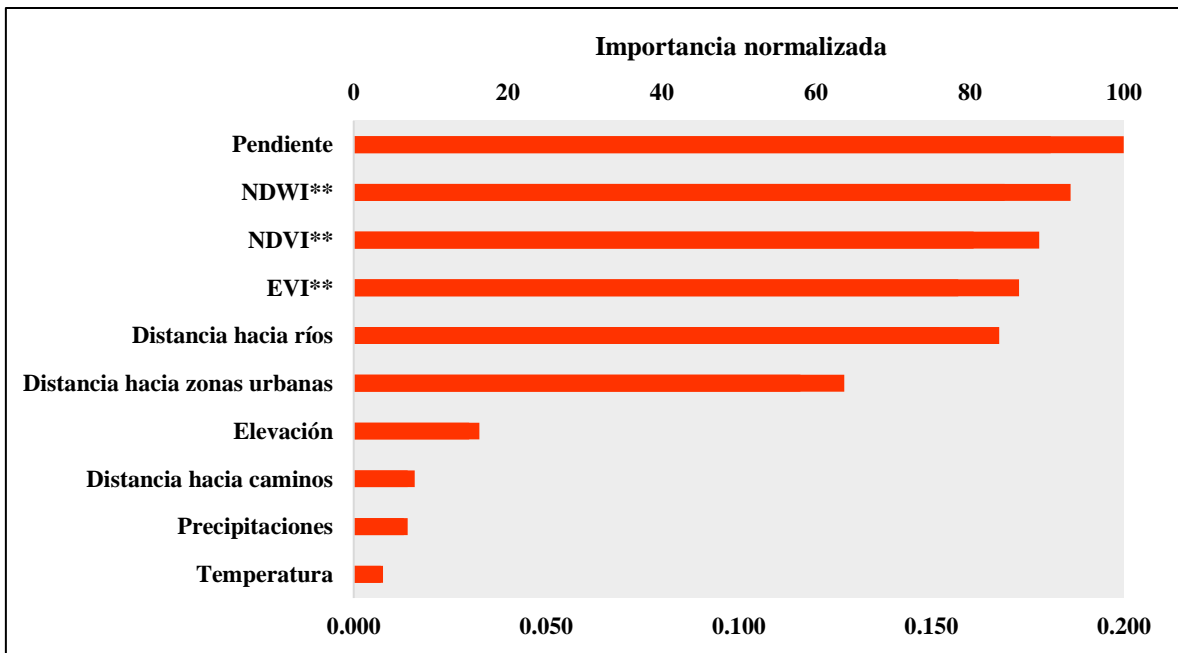
El modelo 2 fue construido a partir de redes neuronales con dos capas ocultas y una capa de salida, y presentó un porcentaje de entrenamiento de 89.4% y de prueba, 85.7%, lo cual es mucho más aceptable que el modelo 1 (gráfico de los resultados de las redes neuronales del modelo 2 en el Anexo 20). Este modelo tuvo un coeficiente de Kappa de 0.776 lo cual lo hace electo como modelo de predicción (resultado del índice de Kappa se aprecia en el Anexo 21). Las variables independientes que estuvieron involucradas en el modelo son expresadas en la Figura 19.





**Figura 18: Variables independientes predictoras según el orden de su importancia del modelo 1.**

Nota: NDVI\*, NDWI\* y EVI\* extraídos a partir de imágenes Landsat 8.



**Figura 19: Variables independientes predictoras según el orden de su importancia del modelo 2.**

Nota: NDVI\*\*, NDWI\*\* y EVI\*\* extraídos a partir de imágenes Sentinel 2.

En ambos modelos, la pendiente en grados (°) fue la variable predictora con más influencia en el riesgo de fasciolosis bovina con un valor de importancia de 100%. La distancia hacia ríos también fue considerada como una variable importante para el modelo 1, donde fue el segundo mejor predictor (71.7%), y en el modelo 2; el quinto (83.8%).

La distancia hacia caminos tuvo una importancia baja en el modelo 1 (44.9%) y en el modelo 2 (7.9%). Así mismo, la importancia de la variable distancia hacia zonas urbanas fue baja en el modelo 1 (21.7%), pero tuvo una importancia moderada en el modelo 2 (63.7%).

La elevación también tuvo diferente respuesta en ambos modelos. En el modelo 1 fue considerada como un factor importante (69.5%), mientras que en el modelo 2, su importancia fue mínima (16.3%).

Tanto la precipitación como la temperatura ambiental fueron consideradas como variables de poca importancia en ambos modelos. A diferencia del presente trabajo, investigaciones citadas previamente hicieron modelos de riesgo en base a áreas de gran escala, ya sea sobre un país o varios países, y a un nivel local como las áreas del presente estudio, la influencia de los factores climáticos en el desarrollo del parásito podría ser baja o nula. En otros trabajos se encontraron que la temperatura y la precipitación son factores de riesgo de baja asociación con la prevalencia de *Fasciola hepatica*, siendo otros factores como los ambientales y de manejo, los predominantes (Kuerpick *et al.*, 2013).

En contraste, los índices de vegetación y agua (NDVI, EVI y NDWI) tuvieron una importancia considerable en el modelo 2, donde los tres índices mostraron porcentajes mayores al 86%, y en el modelo 1, el índice EVI destacó con un 71.3%; mientras que el NDVI y NDWI, fueron considerados poco importantes (menores al 50%).

Para poder elegir uno de los modelos presentados, se consideraron las revisiones bibliográficas previamente citadas sobre cada variable implicada en los modelos y sus diferencias.

Los dos modelos presentados se diferenciaron básicamente de acuerdo al tipo de imágenes que se usaron para extraer la información sobre los índices de vegetación (NDVI, EVI) y de agua (NDWI). El modelo 1 presentó índices procedentes de imágenes Landsat 8; mientras

que el modelo 2, de imágenes Sentinel 2. Debemos considerar que las imágenes Sentinel 2 tienen una mejor resolución espacial que las imágenes Landsat 8. Sin embargo, en este trabajo las imágenes Landsat 8 fueron mejoradas, logrando obtener imágenes de mejor resolución espacial. Este proceso ha sido aplicado en un trabajo anterior (De Roeck *et al.*, 2014) con la misma finalidad de mejorar la calidad de las imágenes.

A pesar de ello, las imágenes Sentinel 2 aún presentaron una mejor resolución espacial, lo cual juega un papel importante en la determinación de los detalles de la información obtenidas de estas imágenes (Jain, 1989). Así mismo, las variables con mayor importancia expuestas por el modelo 2, guardaron una mayor relación con los resultados de las prevalencias encontradas en el distrito de Baños y Matahuasi.

En el caso de la pendiente como factor predictor de mayor importancia, ésta explicaría el por qué Matahuasi obtuvo prevalencias más altas que Baños, ya que el primero posee pendientes bajas, las cuales permitieron la formación de cuerpos de agua en la superficie y la proliferación del parásito y su hospedero intermediario. En contraposición, Baños presentó pendientes pronunciadas, lo cual evitaría la formación de fuentes de humedad en sus zonas más empinadas (Mas-Coma *et al.*, 2001). Vilhena *et al.* (2012), por su parte, durante la aplicación de un enfoque de sistemas de información geográfica para el análisis de riesgo de fasciolosis, consideró que la pendiente debería ser el tercer factor determinante (19% de peso) dentro del estatus epidemiológico de *Fasciola hepatica*, y la clasificó según el porcentaje (< 0% alto riesgo, 10%-15% moderado riesgo y mayores de 15%, bajo riesgo), es decir, mientras menos pendiente tenga el terreno, mayor riesgo de infección existe.

Con respecto a los índices de vegetación (NDVI y EVI) y agua (NDWI) como los siguientes factores predictores más importantes, éstos también fueron determinantes como indicadores de humedad en las áreas de pastoreo, sobre todo el índice de NDWI, el cual logró explicar los resultados de prevalencia incluso en épocas secas. Varios trabajos afirman la importancia de los índices de vegetación (NDVI y EVI) en el desarrollo de mapas de riesgo de fasciolosis bovina. En una investigación similar, el índice de NDVI promedio de las granjas fue considerado como el factor de riesgo ambiental directo más significativo para la infección por *F. hepatica* en ganado ovino y caprino (Kantzoura *et al.*, 2011). Así mismo, Raffo (2013), categorizó los valores de NDVI encontrados en establecimientos de ganaderías y las correlacionó con las prevalencias encontradas de *Fasciola hepatica*, logrando establecer este

índice como evaluador del riesgo de ocurrencia de fasciolosis bovina. Sin embargo, Ducheyne *et al.* (2015) al evaluar estos índices en el desarrollo de modelos espaciales de infección en ganado lechero; reportó que, a comparación de los parámetros climáticos, no fueron significantes como factores de riesgo.

En contraste, las temperaturas y precipitaciones mostraron poca importancia en el modelo 2, reflejando la poca influencia que tuvieron en el comportamiento de las prevalencias encontradas en ambos distritos y durante las épocas secas. Sin embargo, tanto la temperatura ambiental como las precipitaciones han sido revisadas y utilizadas como variables climáticas predictoras de la presencia de *F. hepatica* con mayor éxito en diversos estudios a nivel mundial. Estas variables suelen representarse en modelos espaciales de riesgo como temperaturas promedios mensuales y anuales, en diferentes épocas como frías y calientes, número de días de lluvia y/o número de días en seca, las variaciones entre años, temperaturas máximas y mínimas (McCann *et al.*, 2010; Rinaldi *et al.*, 2015; Selemetas *et al.*, 2015b; Selemetas y De Waal, 2015c; Ducheyne *et al.*, 2015; Byrne *et al.*, 2016; Selemetas *et al.*, 2015a).

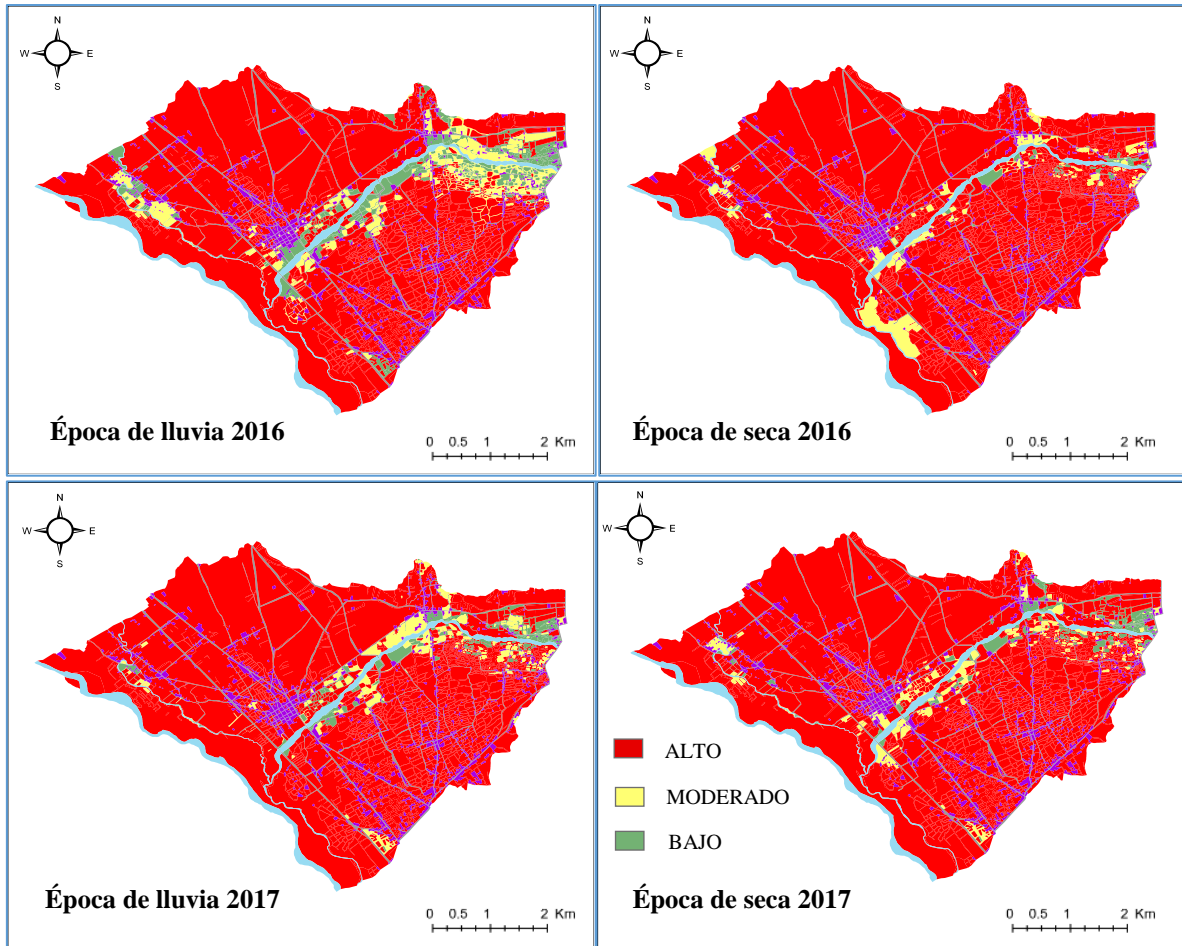
Incluso se han desarrollado modelos de pronóstico basados en precipitación y temperatura para la evaluación de riesgo de fasciolosis al este de África (Malone *et al.*, 1998), en las sierras de Colombia (Valencia-López *et al.*, 2012) y en el Reino Unido, donde se desarrollaron mapas de pronóstico en base al índice de Ollerenshaw y se pudo observar el cambio de distribución de la infección de *Fasciola hepatica* desde 1970 hasta la actualidad y cómo sería la tendencia hasta el 2070 (Fox *et al.*, 2011). Mas-Coma *et al.* (2008) sostiene que hay una gran interacción entre el clima y el desarrollo parasitario.

Como consecuencia a lo expuesto, el modelo de predicción que se eligió para el desarrollo de mapas de riesgo de *Fasciola hepatica* en vacunos lecheros fue el modelo 2.

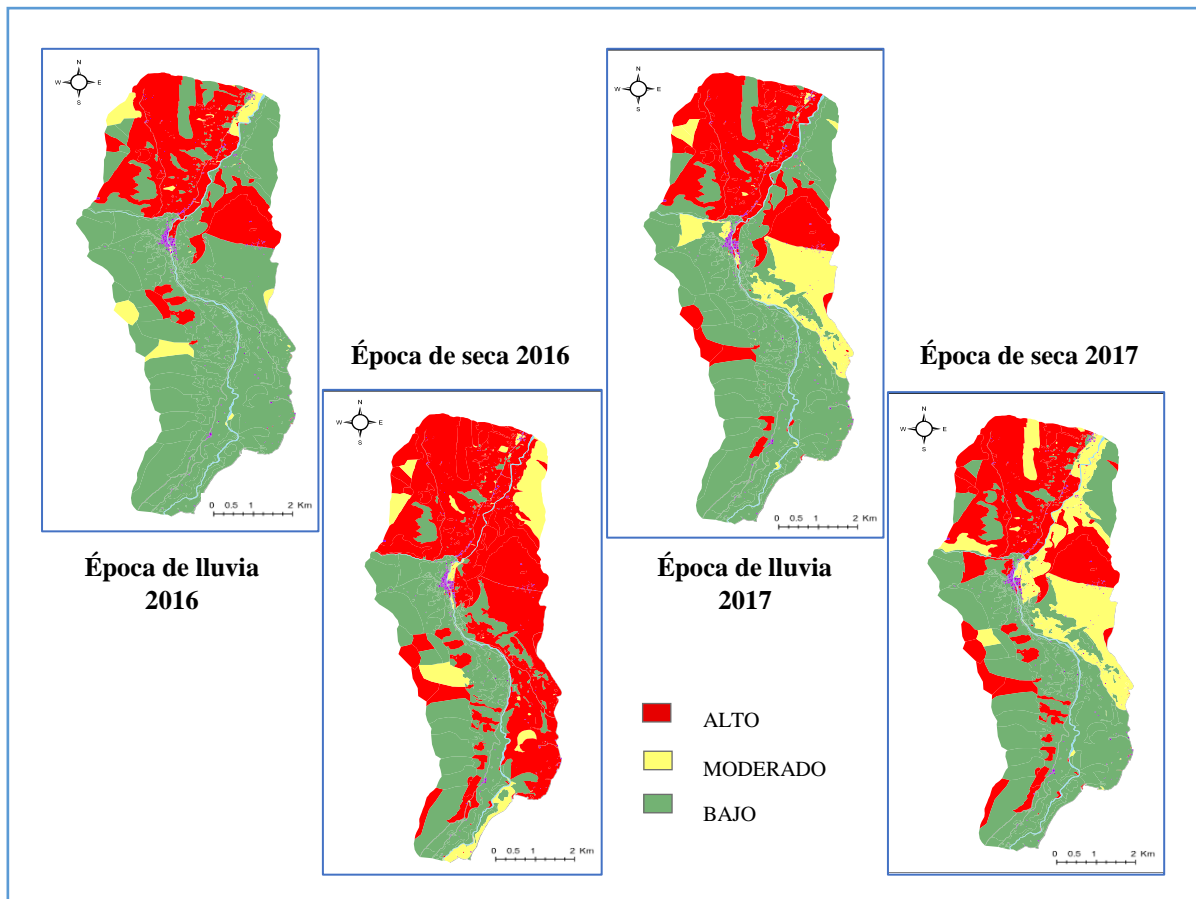
### **3.4.2 Mapas de riesgo**

Los mapas se realizaron en base al modelo 2 previamente presentado. Los mapas de riesgo de *Fasciola hepatica* en Matahuasi según la época del año se observan en la figura 20, mientras que los mapas de riesgo de *Fasciola hepatica* en Baños, se observan en la figura 21.

En el caso del área de estudio en Matahuasi, durante las épocas de lluvia y seca, casi toda el área presentaba un alto riesgo para la infección de *Fasciola hepatica*. En épocas de lluvia del 2016, un 81% del total del área resultó ser una zona de alto riesgo.



**Figura 20: Mapas de riesgo de ocurrencia de *Fasciola hepatica* en Matahuasi en épocas de lluvias y épocas de seca del 2016 y 2017.**



**Figura 21: Mapas de riesgo de ocurrencia de *Fasciola hepatica* en Baños en épocas de lluvia y épocas de seca del 2016 y 2017.**

En época seca del 2016, las zonas de alto riesgo aumentaron a 94.7%. Para el año 2017, en épocas de lluvia, las áreas de alto riesgo disminuyeron a 88.5%, pero volvieron a aumentar en épocas secas en un 88.9%.

Con respecto al área de estudio en Baños, el comportamiento fue distinto. En épocas de lluvia del 2016, un 25.3% del área total representaba zonas de alto riesgo en fasciolosis bovina, mientras que, en épocas secas del mismo año, el área de alto riesgo aumentó en un 55.7%. Ya para el año 2017, en épocas de lluvia, el porcentaje de zonas de alto riesgo descendió a un 30.6% pero aumentó para épocas secas a un 33.8%.

Teniendo en cuenta estos resultados, en un primer plano podemos decir que, en Matahuasi, las zonas de alto riesgo fueron mayores que en Baños, y esto puede ser atribuido directamente a la influencia de la pendiente como variable predictora de mayor importancia en esa zona. Las pendientes de las superficies en Matahuasi fueron bajas por ser parte de un

valle (entre 0.8 y 26 °) lo cual permitiría la acumulación de agua en suelos bajos y si éstos estuvieran mal drenados, provocarían una mayor proliferación del parásito en sus estadios larvarios, y del caracol como hospedero intermediario (Malone *et al.*, 2005). En contraste, Baños presentó un terreno más pronunciado, considerado como una zona montañosa, lo cual obstaculizaría la formación de charcos o cuerpos de agua temporales.

La cercanía de las zonas de pastoreo hacia los ríos no tuvo relación con altos riesgos de transmisión, ya que estas zonas presentaron riesgos bajos o moderados de transmisión (más aun en Baños), mientras que otras que estaban a distancias más lejanas, presentaron mayores riesgos. Es probable que esto se deba a que los productores establecerían sus áreas de pastoreo en lugares lejanos a los ríos, ya que probablemente, alrededor de éstos no sería propicio el cultivo de los pastos, o los suelos no serían aptos para ello.

Con respecto a los índices de vegetación y agua, el NDWI tuvo una mejor relación con la clasificación del riesgo, ya que cuanto más fue el valor de este índice, mayor fue el riesgo. Esto puede ser atribuido a que este índice es muy eficiente detectando cuerpos de agua ya sea temporales (charcos, riachuelos) o permanentes (canales, diques, estanques) y éstos están conectados con los focos de transmisión de fasciolosis bovina (Fuentes *et al.*, 2001; De Roeck *et al.*, 2014).

Caso contrario ocurrió con el NDVI y EVI. En algunas zonas, en especial en Baños, cuando los índices fueron “bajos”, las prevalencias de *F. hepatica* fueron altas. La explicación podría ser la relación con el tipo de suelos de las áreas de pastoreo y la calidad de drenaje que posean. Si los suelos presentaron un drenaje pobre y deficiente, las pasturas probablemente tuvieron menos cobertura vegetal densa, lo cual denotaría bajos valores de los índices de vegetación en comparación con las pasturas con buen drenaje. Sin embargo, como se señaló previamente, la mayoría de los valores de estos índices de vegetación en Baños y Matahuasi no serían considerados bajos en comparación a otros estudios. Por ello, podríamos decir que dichos valores reflejaron coberturas vegetales densas mayormente en épocas de lluvia, pero también en meses de seca, evidenciando la humedad necesaria (con respaldo del índice NDWI) para el desarrollo y mantenimiento de los parásitos y caracoles en las zonas de pastoreo.

A diferencia de lo expuesto por Fuentes *et al.* (2005) en su trabajo de desarrollo de modelos de riesgo de fasciolosis, donde sostiene que los meses de mayor riesgo de transmisión fueron entre noviembre y abril en el valle del Mantaro (lugar donde pertenece el distrito de Matahuasi); en nuestras zonas de estudio se encontró que mayores áreas de transmisión de moderado y alto riesgo se desarrollaron en épocas secas. Las precipitaciones en el comportamiento de la transmisión de fasciolosis bovina no influyeron en nuestro modelo, ya que fueron altos en los meses correspondientes; y por lo visto no ocurrió alguna variación de las lluvias durante los dos años en que este trabajo se realizó.

Así mismo, los cambios que pudieran ocurrir en la distribución espacial de *Fasciola hepatica* a causa de las condiciones climáticas ocurrirían de manera paulatina (Bennema *et al.*, 2011) y en dos años puede que no se exprese alguna repercusión. Estos hallazgos nos hacen pensar que existen otros factores que deberían ser considerados en el desarrollo de un modelo de riesgo. En nuestras áreas de estudio, particularmente en Matahuasi, el riego de las zonas de pastoreo es algo muy usual casi durante todo el año. Este manejo se realiza para evitar el déficit de pastos, más aun, en épocas secas debido a la ausencia de lluvias.

Ésta pudo ser la principal razón por la cual se encontró zonas de alto riesgo en épocas secas a pesar de la ausencia de lluvias, y también la razón por la cual los valores de NDWI fueron altos en esas épocas. La irrigación de las zonas de pastoreo puede ser considerada un factor de transmisión de fasciolosis bovina muy importante (McCann *et al.*, 2010; Durr *et al.*, 2005) debido a que explicaría la formación de cuerpos de agua en las zonas de pastoreo, o la construcción de canales o diques pasarían ser posibles hábitats para los caracoles, los cuales teniendo las condiciones necesarias para su supervivencia, logran ser transmisores de la enfermedad durante todo el año (Fuentes *et al.*, 2001; Olaechea, 2004).

Así mismo, es posible considerar otros factores diferentes a los evaluados en este trabajo que puedan intensificar o reducir el riesgo de transmisión de fasciolosis bovina en la sierra central como aspectos relacionados al manejo de los hatos lecheros y de los pastizales. La densidad del ganado, duración del periodo de pastoreo, la alimentación del ganado al pastoreo o al corte y la presión de pastoreo, pueden jugar un rol importante en la transmisión de la enfermedad y la adaptación del parásito y su hospedero intermediario (Raffo, 2013; Novobilsky *et al.*, 2015; Bennema *et al.*, 2011).



Sin embargo, en nuestras áreas de estudio, el manejo del ganado fue básicamente al pastoreo y si en caso de realizar un modelo espacial con estos datos, en ambos distritos se hubiera realizado encuestas a cada zona ganadera y éstas debieron ser georreferenciadas y actualizadas para observar la influencia de estas variables de manejo en el modelo de riesgo.

El estudio del hábitat del caracol y su ciclo biológico es también una variable que no se consideró en el trabajo directamente, pero que en futuras investigaciones sería una gran herramienta al complementarse con las variables de manejo y las variables ya involucradas (Charlier *et al.*, 2011).

El presente trabajo significaría un comienzo en la utilización de sistemas de información geográfica y de sensores remotos en el desarrollo de modelos de riesgo que expliquen la distribución y la transmisión de *Fasciola hepatica* en ganado vacuno a escalas distritales o regionales (Charlier *et al.*, 2014).

A continuación, se presentan mapas de riesgo de fasciolosis hepática en vacunos lecheros de las zonas de Matahuasi (Figura 22) y Baños (Figura 23) para épocas de lluvia y seca en base al modelo predictivo desarrollado. Con la presente información, tanto profesionales como los productores de las zonas evaluadas, podrán tomar decisiones para el control, mitigación y el monitoreo de la enfermedad, involucrando un plan estratégico con la dosificación de los animales infectados, el manejo integral de la granja y el sistema de pastoreo empleado.

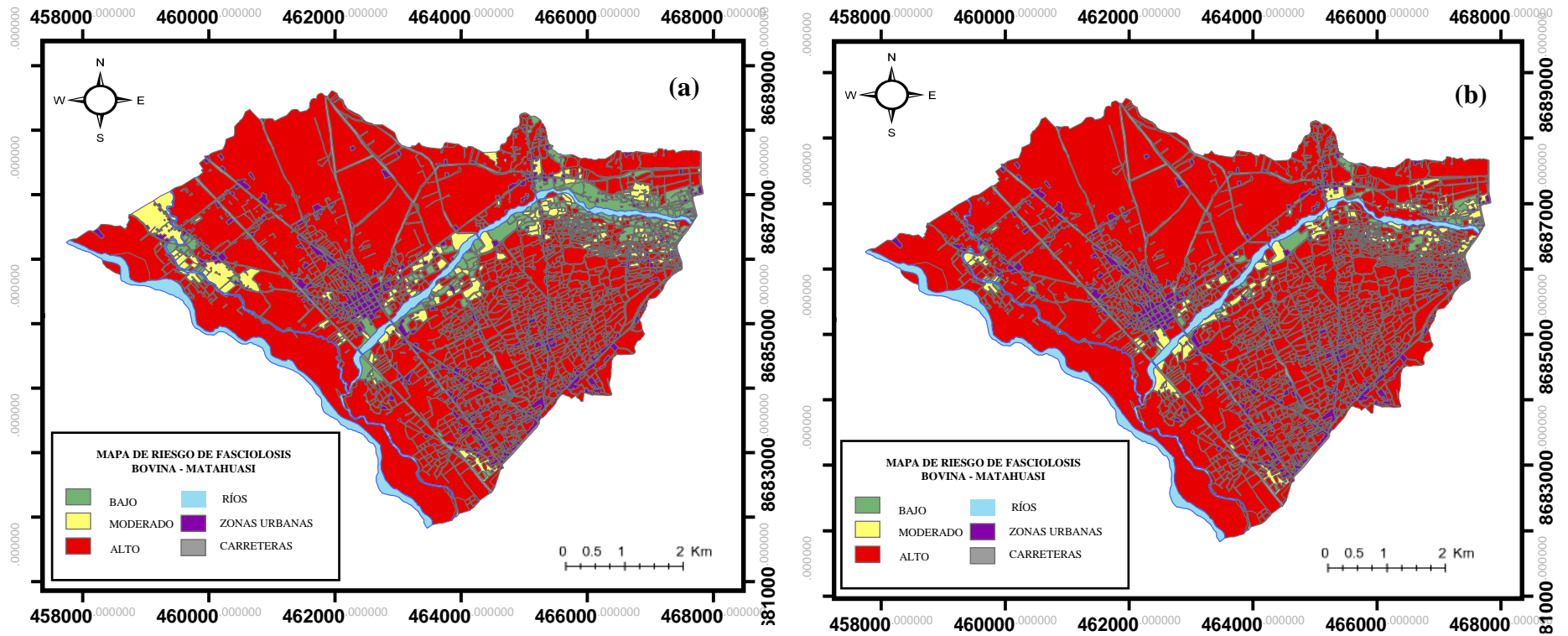
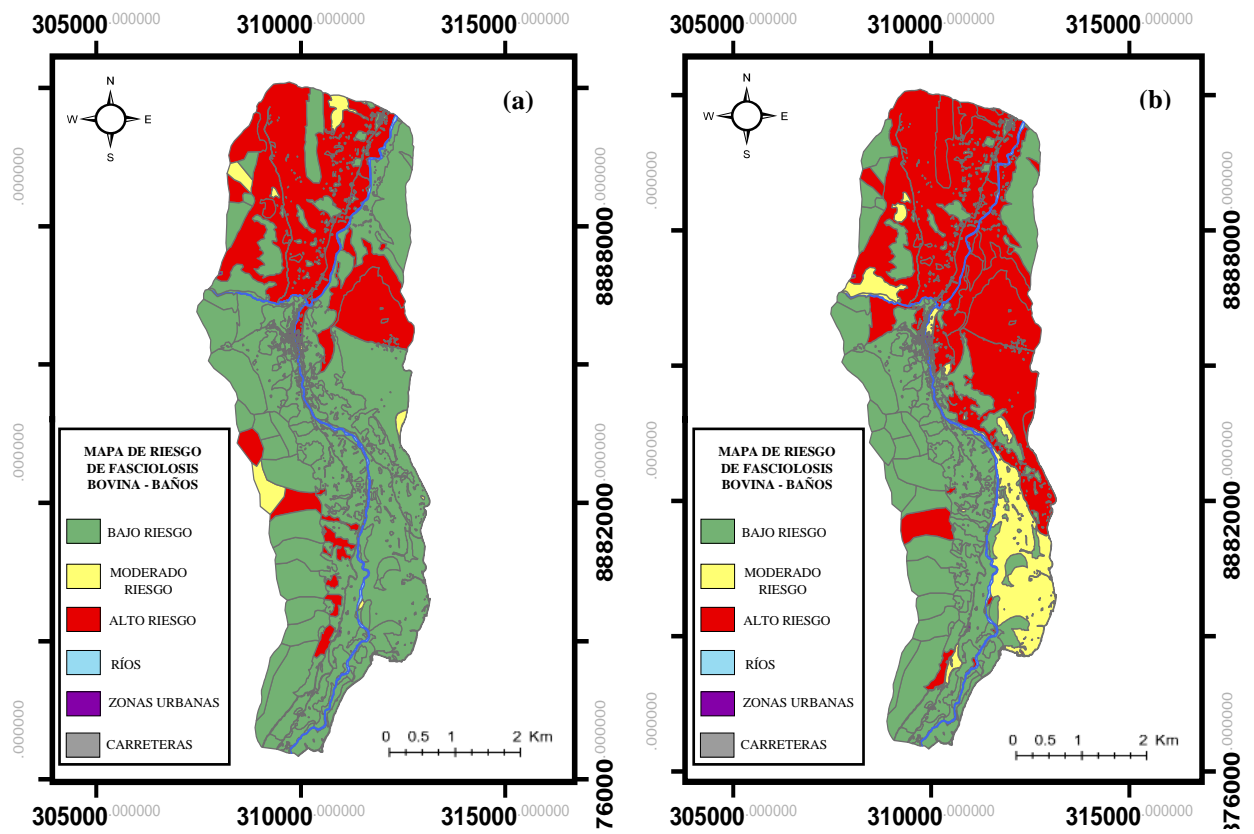


Figura 22: Mapas de riesgo de infección de *Fasciola hepatica* en ganado lechero en época de lluvia (a) y seca (b). Zona de Matahuasi, Concepción, Junín.



**Figura 23: Mapas de riesgo de infección de *Fasciola hepatica* en ganado lechero en época de lluvia (a) y seca (b). Zona de Baños, Lauricocha, Huánuco.**

#### IV. CONCLUSIONES

- Los distritos de Matahuasi y de Baños son zonas hiperendémicas de Fasciolosis hepática en vacunos lecheros, siendo mayores en Matahuasi, debido a las moderadas y altas prevalencias de este parásito encontradas durante todo el año.
- Las predicciones del modelo basado en imágenes del sensor Sentinel 2 explicaron mejor las prevalencias halladas en campo, debido a la más fina resolución espacial del Sentinel para obtener índices de vegetación y de agua con una mayor precisión.
- La pendiente y el índice diferencial de agua normalizado (NDWI) fueron los factores predictores más importantes para el desarrollo de mapas de riesgo de *Fasciola hepatica*; cuando las pendientes son menos pronunciadas y el NDWI es mayor, se obtuvo áreas con mayor riesgo de infección de *F. hepatica*.

## V. RECOMENDACIONES

- Desarrollar estudios sobre la infección de *Fasciola hepatica* en humanos y evaluar su situación actual como parásito zoonótico en ambos distritos por ser zonas hiperendémicas.
- Validar el modelo de riesgo de *Fasciola hepatica* en otras zonas de la sierra central, incluyendo otras variables de manejo de ganado, suelo y vegetación, sistemas de producción y la distribución poblacional de caracoles limneidos.
- Incrementar el muestreo en campo y construir mapas de riesgo con imágenes satelitales de mejor resolución espacial para obtener información de las variables de forma más precisa y poder integrarlas en los modelos de riesgo.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggarwal, S. 2004. Principles of remote sensing. Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology. p. 23 – 38.
- Aguirre, D.; Viñabal, A.; Gaido, A. 1998. Comparación de tres técnicas coprológicas para el diagnóstico de *Fasciola hepatica* en rumiantes. Vet. Arg. Vol. XV. N° 146.
- Alatoom, A.; Cavuoti, D.; Southern, P.; Gander, R. 2008. *Fasciola hepatica* infection in the United States. Department of pathology, University of Texas Southwestern Medical Center, Dallas, Texas. Labmedicine, Vol. 39 Number 7.
- Alpízar, C.; Bianque De Oliveira, J.; Jiménez, A.; Hernández, J.; Berrocal, A.; Romero, J. 2013. *Fasciola hepatica* en ganado bovino de carne en Siquirres y lesiones anatómo-histopatológicas de hígados bovinos decomisados en mataderos de Costa Rica. Agronomía Costarricense 37(2): 7-16.
- Álvarez, A.; Boyacá, M. 2009. Comparación de la técnica de Dennis con los hallazgos hepáticos post mortem para el diagnóstico de la fasciolosis bovina. Cultura Científica. 7:28-33.
- Álvarez, C.; Jex, A.R.; Gasser, R.B.; Scheerlinck, J.P. 2014. Techniques for the diagnosis of *Fasciola* infections in animals: room for improvement. Adv Parasitol. 20; 85: 65–107.
- Amato, S.; De Rezende, H.; Correa, D.; Da Serra, N. 1986. Epidemiology of *Fasciola hepatica* infection in the Paraíba River Valley, Sao Paulo, Brasil. Elsevier, Veterinary Parasitology, 22: 275-284.

- Andrews, S.J. 1999. The life cycle of *Fasciola hepatica*. En: Fasciolosis, J. P. Dalton (Ed). London, UK, CABI International, p 544.
- Arias, M.; Piñeiro, P.; Hillyer, G.V.; Suárez, J.L.; Francisco, I.; Cortiñas, F.J.; Díez-Baños, P.; Morrondo, P. 2010. An approach of the laboratory to the field: assessment of the influence of cattle management on the seroprevalence of fascioliasis by using polyclonal and recombinant based ELISAs. *Journal of Parasitology* 96, 626–631.
- Ayaqui, R.; Miranda, E. 2002. Fasciolosis en la localidad de Uchumayo-Arequipa, 2000. En: Libro de Resúmenes del V Congreso Peruano de Parasitología. Trujillo: Sociedad Peruana de Parasitología. p. 113.
- Ayele, M. 2016. Review on the Biology of Fasciola Parasites and the Epidemiology on Small Ruminants. *Advances in Life Science and Technology*. Vol. 48.
- Bargues, M.D.; Artigas, P.; Khoubbane, M.; Mas-Coma, S. 2011. DNA sequence characterisation and phylogeography of *Lymnaea cousini* and related species, vectors of fascioliasis in northern Andean countries, with description of *L. meridensis* n. sp. (Gastropoda: Lymnaeidae). *Parasites & Vectors*, 4, 132.
- Becerra, R. 2001. Consideraciones sobre estrategias sostenibles para el control de *Fasciola hepatica* en Latinoamérica. *Rev. Col. Cienc. Pec.* Vol. 14: 1.
- Becerra, V. 2015. Frecuencia de parásitos gastrointestinales en las unidades productivas de cuyes (*Cavia porcellus*) de crianza intensiva en el distrito de Moquegua. Tesis Ing. Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.
- Bennema, S.C.; Ducheyne, E.; Vercruyse, J.; Claerebout, E.; Hendrickx, G.; Charlier, J. 2011. Relative importance of management, meteorological and environmental factors in the spatial distribution of *Fasciola hepatica* in dairy cattle in a temperate climate zone. *International Journal for Parasitology*. 41; 225–233.

- Bennett, R.; Ijpelaar, J. 2003. Economic assessment of livestock diseases in Great Britain. Final Report to the Department for Environment, food and Rural Affairs. Whiteknights, UK: University of Reading.
- Bloemhoff, Y.; Sayers, R.; Byrne, N.; Good, B. 2012. Liver fluke in Irish dairy herds. Teagasc Res 7, 32-33.
- Boray, J.C. 1969. Experimental fascioliasis in Australia. *Advances in Parasitology*, 7: 95-210.
- Briskey, D.W.; Scroggs, M.G.; Hurtig, F.S. 1994. A prevalence survey of liver flukes (*Distoma*) in beef cows at slaughter in the western United States. *Agri-Practice*, 1994; 15: 8-11.
- Brooker, S.; Rowlands, M.; Haller, L.; Savioli, L.; Bundy, D.A. 2000. Towards an atlas of human helminth infection in sub-Saharan Africa: the use of geographical information systems (GIS). *Parasitol Today*. 16(7): 303–307.
- Brown, K.M.; Thorp, J.H.; Covich A.P. 2001. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. 2 ed. Academic Press, New York. p. 297-325.
- Bulman, M. 2012. Pérdidas económicas directas e indirectas por parásitos internos y externos de los animales domésticos en Argentina. *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*. 2012. Tomo LXVI. p. 76- 176. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/32935/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/32935/Documento_completo.pdf?sequence=1)
- Byrne, A.; McBride, S.; Lahuerta-Marin, A.; Guelbenzu, M.; McNair, J.; Skuce R.A.; McDowell, S.W.J. 2016. Liver fluke (*Fasciola hepatica*) infection in cattle in Northern Ireland: a large-scale epidemiological investigation utilising surveillance data. *Parasites & Vectors*; 9-209.



- Cabada, M.M.; López, M.; Cruz, M.; Delgado, J.R.; Hill, V.; White, A.C.; Jr. 2016. Treatment Failure after Multiple Courses of Triclabendazole among Patients with Fascioliasis in Cusco Peru: A Case Series. PLoS. Negl. Trop. Dis. 10(1).
- Cabra, A.; Herrera, H. 2007. Estudio de prevalencia de la *Fasciola hepatica* y Caracol *Lymnaea spp.* en predios del municipio de Simijaca Cundinamarca (Tesis de pregrado). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.
- Cardozo, H. 2003. Diagnóstico de *Fasciola hepática*. Red de Helminología para América Latina y el Caribe. Sitio Argentino de Producción Animal. Disponible en: [http://www.produccionanimal.com.ar/sanidad\\_intoxicaciones\\_metabolicos/parasitarias/parasitarias\\_bovinos/44-diagnostico\\_fasciola\\_hepatica.pdf](http://www.produccionanimal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/parasitarias/parasitarias_bovinos/44-diagnostico_fasciola_hepatica.pdf)
- 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.
- Carrada-Bravo, T. 2007. *Fasciola hepatica*: Ciclo biológico y potencial biótico. Rev. Mex. Patol. Clin. Vol. 54, Núm. 1, PP. 21-27.
- Castro, J.; Yovera, J.; Colona, E. 2002. Detección de coproantígenos de *Fasciola hepatica* en vacunos mediante un sandwich-Elisa. Revista de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. p. 10-13.
- Ceccato, P. 2010. Health Societal Benefit Area: Infectious Diseases. GEO Task US-09-01a: Critical Earth Observations Priorities. Group on earth observations. Columbia University, USA. Disponible en: [https://sbageotask.larc.nasa.gov/InfectiousDisease\\_US0901a-FINAL.pdf](https://sbageotask.larc.nasa.gov/InfectiousDisease_US0901a-FINAL.pdf)
- Ceccato, P.; Flasse, S.; Gregoire, J.M. 2002. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 2. Validation and applications. Remote Sensing of Environment 82: 198-207.
- Chang, K. 2005. Introduction to Geographic Information Systems. 3rd edition. Mc Grawhill. p. 14.

- Charlier, J.; Bennema, S.C.; Caron, Y.; Counotte, M.; Ducheyne, E.; Hendrickx, G.; Vercruysse, J. 2011. Towards assessing fine-scale indicators for the spatial transmission risk of *Fasciola hepatica* in cattle. *Geospat. Health*. 5(2): 239–245.
- Charlier, J.; De Cat, A.; Forbes, A.; Vercruysse, J. 2009. Measurement of antibodies to gastrointestinal nematodes and liver fluke in meat juice of beef cattle and associations with carcass parameters. *Veterinary Parasitology* 166, 235–240.
- Charlier, J.; Duchateau, L.; Claerebout, E.; Williams, D.; Vercruysse, J. 2007. Associations between anti-*Fasciola hepatica* antibody levels in bulk-tank milk samples and production parameters in dairy herds. *Preventive Veterinary Medicine* 78, 57 –66.
- Charlier, J., Vercruysse, J.; Morgan, E.; Van Dijk, J.; Williams, D.J.L. 2014. Recent advances in the diagnosis, impact on production and prediction of *Fasciola hepatica* in cattle. *Parasitology*; 141(3): 326–335.
- Chávez, V.; Sánchez, R.; Arana, D.; Suárez, A. 2012. Resistencia a antihelmínticos y prevalencia de fasciolosis bovina en la ganadería lechera de Jauja, Perú. *Rev. Inv. Vet. Perú*; 23(1): 90-97.
- Christensen, N.; Nansen, P.; Frandsen, F. 1978. The influence of some physico-chemical factors on the host-finding capacity of *Fasciola hepatica* miracidia. *Journal of Helminthology*. 52, 61-67.
- Cole, G.C. 2006. Drug resistance and drug tolerance in parasites. *Trends in Parasitology*. 22: 348.
- Colona, E.; Alzamora, L.; Castro J. 2001. Evaluación de antígenos de *Fasciola hepatica* por tres métodos inmunológicos. *Rev. Peru. Biol.* 8(2); 149-158.
- Cordero, K. 2016. Prevalencia de *Fasciola hepatica* en Bovinos beneficiados en el Centro de Faenamiento FRILISAC entre los años 2012-2015 (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

- Cornejo, H.; Oblitas, F.; Cruzado, S.; Quispe, W. 2010. Evaluación de una prueba de Elisa con antígeno metabólico de *Fasciola hepatica* para el diagnóstico de Fasciolosis Humana en Cajamarca, Perú. *Rev. Peru Med. Exp. Salud Publica.* 27(4): 569-74.
- Correa, S.; Martínez, Y.; López, J.; Velásquez, L. 2016. Evaluación de la técnica modificada de Dennis para el diagnóstico de fasciolosis bovina. *Biomédica*; 36 (Supl.1):64-8.
- Cromley, E.K. 2003. GIS and Disease. *Annu. Rev. Public Health* 2003. 24:7–24.
- Cruz-Mendoza, I.; Ibarra-Velarde, F.; Quintero-Martínez, M.T.; Naranjo-García, E.; Lecumberri-López, J.; Correa, D. 2005. Seasonal transmission of *Fasciola hepatica* in cattle and *Lymnaea (Fossaria) humilis* snails in central Mexico. *Parasitol. Res.* 95; 283–286.
- Das Chagas-Bernardo, C.; Batista, M.C.; Rauta De Avelar, B.; Molinari, D.D., Vilhena, F.M., Salim, P. M.J. 2011. Prevalence of liver condemnation due to bovine fasciolosis in Southern Espírito Santo: temporal distribution and economic losses. *Rev. Bras. Parasitol. Vet., Jaboticabal*, v. 20, n. 1, p. 49-53.
- De Roeck, E.; Van-Coillie, F.; De Wulf, R.; Soenen, K.; Charlier, J.; Vercruysse, J.; Hantson, W.; Ducheyne, E.; Hendrickx, G. 2014. Fine-scale mapping of vector habitats using very high resolution satellite imagery: a liver fluke case-study. *Geospatial Health* 8(3), pp. S671-S683.
- Dorchies, P. 2007. Comparison of methods for the veterinary diagnosis of liver flukes (*Fasciola hepatica*) in cattle. *Bulletin USAMV-CN*, 64/ (1-2).
- Drusch, M.; Del Bello, U.; Carlier, S.; Colin, O.; Fernandez, V.; Gascon, F.; Hoersch, B.; Isola, C.; Laberinti, P.; Martimort, P.; Meygret, A.; Spoto, F.; Sy, O.; Marchese, F.; Bargellini, P. 2012. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36.
- Ducheyne, E.; Charlier, J.; Vercruysse, J.; Rinaldi, L.; Biggeri, A.; Demeler, J.; Brandt, C.; De Waal, T.; Selemetas, N.; Höglund, J.; Kaba, J.; Kowalczyk, S.J.; Hendrickx, G.

2015. Modelling the spatial distribution of *Fasciola hepatica* in dairy cattle in Europe. *Geospat Health*; 9(2): 261–270.
- Durr, P.A.; Tait, N.; Lawson, A.B. 2005. Bayesian hierarchical modeling to enhance the epidemiological value of abattoir surveys for bovine fasciolosis. *Preventative Veterinary Medicine*. 71, 157–172.
- Duthaler, U.; Rinaldi, L.; Maurelli, M.; Vargas, M.; Utzinger, J.; Cringoli, G.; Keiser, J. 2010. *Fasciola hepatica*: Comparison of the sedimentation and FLOTAC techniques for the detection and quantification of faecal egg counts in rats. Elsevier, *Experimental Parasitology* 126, 161–166.
- Dutra, L.H.; Molento, M.B.; Naumann, C.R.C.; Biondo, A.W.; Fortes, F.S.; Savio, D.; Malone, J.B. 2010. Mapping risk of bovine fasciolosis in the south of Brazil using Geographic Information Systems. *Vet. Parasitol.* 169(1-2): 76–81.
- El-Bahy, M.; Mahgoub, A.; Taher, E. 2014. Contributions on human fascioliasis and its snail intermediate host in Nile Delta, Egypt. *International Journal of Basic and Applied Sciences*. 3 (3), 172-179.
- Elmonir, W.; Mousa, W.; Sultan, K. 2015. The Prevalence of Some Parasitic Zoonoses in Different Slaughtered Animal Species at Abattoir in the Mid-Delta of Egypt; with Special Reference to its Economic Implications. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*. 47: 97-103.
- Espinoza, J.; Maco V.; Marcos, L.; Sáez, S.; Neyra, V.; Terashima, A.; Samalvides, F.; Gotuzzo, E.; Chavarry, E.; Huaman, M.; Bargues, M.; Valero, A.; Mas-Coma, S. 2007. Evaluation of FAS2-Elisa for the serological detection of *Fasciola hepatica* infection in humans. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 76(5), pp. 977–982.
- Espinoza, J.R.; Terashima, A.; Herrera-Velit, M.L. 2010. Fasciolosis humana y animal en el Perú: Impacto en la economía de las zonas endémicas. *Rev. Perú Med. Exp. Salud Pública*. 27(4): 604-12.

- Fairweather, I.; Boray, J.C. 1999. Fasciolicides: efficacy, actions, resistance and its management. *Vet. J.* 158, 81–112.
- Fiel, C. 2005. Manual técnico: Antiparasitarios internos y endectocidas de bovinos y ovinos. Disponible en: [http://www.minagri.gob.ar/site/ganaderia/ovinos/05=Documentaci%C3%B3n%20Tecnica/05Sanidad/archivos/000000\\_Manual%20Tecnico%20antiparasitarios%20ovinos.pdf](http://www.minagri.gob.ar/site/ganaderia/ovinos/05=Documentaci%C3%B3n%20Tecnica/05Sanidad/archivos/000000_Manual%20Tecnico%20antiparasitarios%20ovinos.pdf)
- Fletcher-Lartey, S.M.; Caprarelli, G. 2016. Application of GIS technology in Public Health: successes and challenges. *Parasitology.* 143(4): 401–415.
- Fox, N.J.; White, P.C.L.; McClean, C.J.; Marion, G.; Evans, A.; Hutchings, M.R. 2011. Predicting Impacts of Climate Change on *Fasciola hepatica* Risk. *PLoS One.* 6(1): e16126.
- Fuentes, M. 2004. Proposal of a geographic information system for modeling zoonotic fasciolosis transmission in the Andes. *Parasitol Latinoam* 59: 51 - 55, 2004 FLAP.
- Fuentes, M.; Malone, J.; 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. Elsevier. *Acta Tropica* 79, 87–95.
- Fuentes, M.; Sainz-Elipe, S.; Nieto, P.; Malone, J.; Mas-Coma, S. 2005. Geographical Information Systems risk assessment models for zoonotic fasciolosis in the South American Andes region. *Parasitologia* 47: 151-156.
- Gaasenbeek, C.P.H.; Moll, L.; Cornelissen, J.B.W.J.; Vellema, P.; Borgsteede, F.H.M. 2001. An experimental study on triclabendazole resistance of *Fasciola hepatica* in sheep. *Veterinary Parasitology* 95; 37–43.
- Gao, B.C. 1996. NDWI A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Remote Sens. Environ.* 58:257-266.

- Gardner, W.H. 1986. Water content, in: Klute, A., Campbell, G.S., Jacson, R.D., Mortland, M.M., Nielsen, D.R. (eds.), *Methods of Soil Analysis. Part I*, ASA and SSSA, Madison, WI, USA, pp. 493–544.
- Giraldo-Pinzón, E.; Álvarez-Mejía, L. 2013. Registro de plantas hospederas de caracoles Lymnaeidae (Mollusca: Gastropoda), vectores de *Fasciola hepatica* (Linnaeus, 1758), en humedales de la región central andina colombiana. *Veterinaria y Zootecnia* ISSN 2011-5415. Vol. 7 No.2.
- Godoy, M.Y.; Roque, L.; Doménech, C.; Rodríguez, F. 2010. Diagnostico coproparasitológico de *Fasciola hepatica* en ganado bovino en una empresa pecuaria cubana. *RevInvVet Perú* 2010; 21 (2): 175-179.
- González, L.C.; Esteban, J.G.; BARGUES, M.D.; Valero, M.A.; Ortiz, P.; Náquira, C.; Mas-Coma, S. 2011. Hyperendemic human fascioliasis in Andean valleys: An altitudinal transect analysis in children of Cajamarca province, Peru. *Acta Trop.* 120(1-2): 119–129.
- Hansen, J.; Perry, B. 1994. The epidemiology, diagnosis and control of helminth parasites of ruminants. ILRAD. Nairobi, Kenya. Cap. 3. Techniques for parasite assays and identification in faecal samples. Disponible en: <http://www.fao.org/Wairdocs/ILRI/x5492E/x5492e05.htm#3.%20techniques%20for%20parasite%20assays%20and%20identification%20in%20faecal%20samples>
- Howell, A.; Baylis, M.; Smith, R.; Pinchbeck, G.; Williams, D. 2015. Epidemiology and impact of *Fasciola hepatica* exposure in high-yielding dairy herds. *Elsevier, Preventive Veterinary Medicine* 121: 41–48.
- Howell, A.; Mugisha, L.; Davies, J.; Lacourse, E.; Claridge, J.; Williams, D.; Kelly-Hope, L.; Betson, M.; Kabatereine, N.; Stothard, J.R. 2012. Bovine fasciolosis at increasing altitudes: Parasitological and malacological sampling on the slopes of Mount Elgon, Uganda. *Parasites & Vectors*, 5:196.

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), PE. 2012. IV Censo Nacional Agropecuario. Lima, Perú. Consultado 20 nov. 2016. Disponible en: <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/>
- ITC (Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente). 2017. ITC's Database of satellites and sensors (en línea). Disponible en <https://www.itc.nl/Pub/sensordb/AllSensors.aspx>
- Jain, A.K. 1989. Fundamentals of Digital Image Processing. Prentice-Hall, New Jersey.
- Kantzoura, V.; Kouam, M.K.; Demiris, N.; Feidas, N.; Theodoropoulos, G. 2011. Risk factors and geospatial modelling for the presence of *Fasciola hepatica* infection in sheep and goat farms in the Greek temperate Mediterranean environment. *Parasitology*. 138(7): 926–938.
- Kaplan, R. 2001. *Fasciola hepatica*: A Review of the Economic Impact in Cattle and Considerations for Control. *Veterinary Therapeutics* • Vol. 2, No. 1.
- Kaplan, R.M. 1995. Epidemiology of *Fasciola hepatica* in Florida with emphasis on the population dynamics and infection prevalence of the primary snail intermediate host, *Fossariacubensis*. Disponible en: <https://archive.org/stream/epidemiologyoffa00kapl#page/n0/mode/2up>
- Kaplan, R.; Vidyashankar, A. 2012. An inconvenient truth: Global worming and anthelmintic resistance. *Veterinary Parasitology*. 186; 70-78.
- Kassai, T. 2002. *Helminología veterinaria*. Zaragoza. Editorial Acribia. 420 p.
- Kelley, M.; Elliott, T.; Beddoe, T.; Anderson, G.; Skuce, P.; Spithill, T. 2016. Current Threat of Triclabendazole Resistance in *Fasciola hepatica*. *Trends Parasitol.* Jun; 32(6): 458–469.
- Khosravi, A.; Babaahmady, E. 2012. Epidemiology of *Fasciola Hepatica* in Iran. *International Journal of Biology*; Vol. 4, No. 4.

- Kleiman, F. 2004. *Fasciola hepatica* (Trematoda:Digenea) en ganado bovino de los valles cordilleranos patagónicos: factores involucrados en su transmisión (tesis de posgrado). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Kleiman, F.; Pietrokovsky, S.; Gil, S.; Wisnivesky-Colli, C. 2005. Comparison of two coprological methods for the veterinary diagnosis of fasciolosis. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 57,181–185.
- Kuerpick, B.; Conraths, F.J.; Staubach, C.; Fröhlich, A.; Schnieder, T.; Strube, C. 2013. Seroprevalence and GIS-supported risk factor analysis of *Fasciola hepatica* infections in dairy herds in Germany. *Parasitology.* 140(8): 1051–1060.
- Landres, P.; Spildie, D.; Queen Lloyd, P. 2001. GIS applications to wilderness management: potencial uses and limitations. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-80. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 9 p.
- Larrea, H.; Flórez, M.; Virar, R.; Huamán, P.; Velásquez, J. 2007. Hospederos intermediarios de *Fasciola hepatica* en el Perú. *Revista Horizonte Médico* | Vol 7, N° 1.
- Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W.; Chipman, J.W. 2004. Remote sensing and image interpretation (No. Ed. 5). John Wiley & Sons Ltd.
- Londoño, P.; Chávez, A.; Li, O.; Suárez, F.; Pezo, D. 2009. Presencia de caracoles lymnaeidae con formas larvarias de *Fasciola hepatica* en altitudes sobre los 4000 msnm en la Sierra Sur del Perú. *Rev Inv Vet Perú*; 20 (1): 58-65.
- López, M.; White, A.C. Jr.; Cabada, M.M. 2012. Burden of *Fasciola hepatica* Infection among Children from Paucartambo in Cusco, Peru. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 86(3) 481–485.



- López-Díaz, M.C.; Carro, M.C.; Cadorgina, C.; Díez-Banos, P.; Mezo, M. 1998. Puberty and serum concentrations of ovarian steroids during prepuberal period in Friesian heifers artificially infected with *Fasciola hepatica*. *Theriogenology* 50, 587–593.
- Loyacano, A.F.; Williams, J.C.; Gurie, J.; Derosa, A.A. 2002. Effect of gastrointestinal nematode and liver fluke infections on weight gain and reproductive performance of beef heifers. *Veterinary Parasitology* 107, 227–234.
- Maco, V.; Marcos, L.; Terashima, A.; Samalvides, F.; Miranda, E.; Espinoza, J.; Gotuzzo, E. 2002. Fas2-ELISA y la técnica de sedimentación rápida modificada por lumbreras en el diagnóstico de la infección por *Fasciola hepatica*. *Rev. Med. Hered* 13 (2).
- Malone, J.B. 2005. Biology-based mapping of vector-borne parasites by Geographic Information Systems and Remote Sensing. *Parassitologia*, 47: 27-50.
- Malone, J.B.; Fehler, D.P.; Loyacano, A.F.; Zukowski, S.H. 1992. Use of LANDSAT MSS imagery and soil type in a geographic information system to assess site-specific risk of fascioliasis on Red River Basin farms in Louisiana. *Ann N Y Acad Sci.*; 653: 389–397.
- 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 hepatica* and *F. gigantica* in east Africa based on Food and Agriculture Organization databases. *Vet. Parasitol.* 78(2): 87–101.
- Mancebo, Q.; Ortega, E.; Criado, V.; Ramos, M.; Fernández, M. 2008. Libro SIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental. Madrid, España. Pág. 8-22; 43-49.
- Manrique, M.J.; Cuadros, C.S. 2002. Fasciolosis: Buscando estrategias de control. Arequipa, Perú: Akwarella. 126 p.

- Marcos, L.; Maco, V.; Terashima, A.; Samalvides, F.; Miranda, E.; Tantalean, M.; Espinoza, J.R.; Gotuzzo, E. 2004. Hiperendemicidad de Fasciolosis humana en el Valle del Mantaro, Perú: Factores de riesgo de la infección por *Fasciola Hepática*. Rev. Gastroenterol. Perú. 24: 158-164.
- Marcos, L.; Romani, L.; Florencio, L.; Terashima, A.; Canales, M.; Nestares, J.; Huayanay, L.; Gotuzzo, E. 2007. Zonas Hiperendémicas y Mesoendémicas de la Infección por *Fasciola hepática* aledañas a la Ciudad de Lima: ¿Una Enfermedad Emergente? Rev. Gastroenterol. Perú. 27: 21-26.
- Martínez-Pérez, J.M.; Robles-Pérez, D.; Rojo-Vázquez, F.A.; Martínez-Valladares, M. 2012. Comparison of three different techniques to diagnose *Fasciola hepatica* infection in experimentally and naturally infected sheep. Vet Parasitol. 190(1-2):80-6.
- Martínez-Valladares, M.; Robles-Pérez, D.; Martínez-Pérez, J.; Cordero-Pérez, C.; Del Rosario, M.; Fernández-Pato, N.; González-Lanza, C.; Castañón-Ordóñez, L.; Rojo-Vázquez, F. 2013. Prevalence of gastrointestinal nematodes and *Fasciola hepatica* in sheep in the northwest of Spain: relation to climatic conditions and/or man-made environmental modifications. Parasites & Vectors, 6:282.
- Mas-Coma, S. 2005. Epidemiology of fascioliasis in human endemic areas. Journal of Helminthology (2005) 79, 207–216.
- Mas-Coma, S.; Esteban, J.; Bargues, M. 1999. Epidemiology of human fascioliasis: a review and proposed new classification. Bulletin of the World Health Organization, 77(4).
- Mas-Coma, S.; Funatsu, I.F.; Bargues, M.D. 2001. *Fasciola hepatica* and lymnaeid snails occurring at very high altitude in South America. Cambridge University Press. Parasitology, 123, S115–S127.
- Mas-Coma, S.; Valero, M.V.; Bargues, M.D., 2009. *Fasciola*, lymnaeids and human fascioliasis, with a global overview on disease transmission, epidemiology,

evolutionary genetics, molecular epidemiology and control. *Adv. Parasitol.* 69, 41–146.

Mas-Coma, S.; Valero, MA.; Bargues, MD. 2008. Effects of climate change on animal and zoonotic helminthiases. *RevSciTech.* 27(2):443-57.

Massote, R.; Antunes, V.M.; Aparecida de Jesus, C.; Dos Santos, W. 2016. Occurrence of *Fasciola hepatica* (Linnaeus, 1758) in capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) (Linnaeus, 1766) in Minas Gerais, Brazil. *Braz. J. Vet. Parasitol.*, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 364-367.

Matsushita, B.; Yang, W.; Chen, J.; Onda, Y.; Qiu, G. 2007. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-Density Cypress Forest. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 7(11), 2636–2651.

McCann, C.; Baylis, M.; Williams, D.J.L. 2010. The development of linear regression models using environmental variables to explain the spatial distribution of *Fasciola hepatica* infection in dairy herds in England and Wales. *Int J Parasitol.*; 40(9): 1021–1028.

McClanahan, S.L. 2012. Liver flukes in beef cattle. University of Minnesota Extension. Disponible en: [http://www.extension.umn.edu/agriculture/beef/components/docs/liver\\_flukes\\_in\\_beef\\_cattle.pdf](http://www.extension.umn.edu/agriculture/beef/components/docs/liver_flukes_in_beef_cattle.pdf)

McFeeters, S.K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17:7, 1425-1432.

Melendo-Vega, J.; Martín, M.; Vilar, L.; Pacheco-Labrador, J., Echavarría, P.; Martínez-Vega, J. 2017. Estimación de variables biofísicas del pastizal en un ecosistema de dehesa a partir de espectro-radiometría de campo e imágenes hiperespectrales aeroportadas. *Revista de Teledetección.* 13. 10.4995.

- Melnick, A. 2002. Introduction to Geographic Information Systems in Public Health. An Aspen Publication ©Aspen publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland. Pág. 11.
- Mezo, M.; González-Warleta, M.; Castro-Hermida, J.A.; Muiño, L., Ubeira, F.M. 2011. Association between anti-*F. hepatica* antibody levels in milk and production losses in dairy cows. *Veterinary Parasitology* 180, 237–242.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), PE. 2016a. Productores y criadores respaldan creación de la Dirección General de Ganadería del MINAGRI (Noticias). Lima, Perú. Consultado 03 mar. 2017. Disponible en: <http://www.minagri.gob.pe/portal/noticias-antiguas/notas-2016/17184-productores-y-criadores-respaldan-creacion-de-la-direccion-general-de-ganaderia-del-minagri>
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), PE. 2016b. Boletín Estadístico de Producción Agrícola, Pecuaria y Avícola. Lima, Perú. Consultado 10 feb. 2017. Disponible en: [http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/produccion-agricola-pecuaria-avicola/2016/boletin-produccion-comercializacion-avicola-diciembre2016\\_020317.pdf](http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/produccion-agricola-pecuaria-avicola/2016/boletin-produccion-comercializacion-avicola-diciembre2016_020317.pdf)
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), PE. 2017. Ganadería ya cuenta con plan nacional de desarrollo hasta el año 2027 (Noticias). Lima, Perú. Consultado 04 mar. 2017. Disponible en: <http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-ganaderia-ya-cuenta-plan-nacional-desarrollo-hasta-ano-2027-666797.aspx>
- Molina-Hernández, V.; Mulcahy, G.; Pérez, J.; Martínez-Moreno, A.; Donnelly, S.; O'Neill, M.; Dalton, J.; Cwiklinski, K. 2015. *Fasciola hepatica* vaccine: We may not be there yet but we're on the right road. *Vet Parasitol.* 208(1-2): 101–111.
- Moll, L.; Gaasenbeek, C.P.H.; Vellema, P.; Borgsteede, F.H.M. 2000. Resistance of *Fasciola hepatica* against triclabendazole in cattle and sheep in The Netherlands. *Veterinary Parasitology* 91; 153–158.

- Muñoz, J.M.; Ponce, A.D. 2005. Percepción remota. “Fundamentos de teledetección especial (en línea). México. 62p. Disponible en: <http://siga.cna.gob.mx/SIGA/Percepcion/Fundamentos%20de%20teledetecci%C3%B3n%20espacial.PDF>
- Murphy, T.M.; Fahy, K.N.; McAuliffe, A.; Forbes, A.B.; Clegg, T.A.; O’Brien, D.J. 2006. A study of helminth parasites in culled cows from Ireland. *Prev. Vet. Med.* 76, 1–10.
- Novobilsky, A.; Sollenberg, S.; Höglund, J. 2015. Distribution of *Fasciola hepatica* in Swedish dairy cattle and associations with pasture management factors. *Geospatial Health* 9(2), pp. 293-300.
- Nzalawahe, J.; Kassuku, A.A.; Stothard, J.R.; Coles, G.C.; Eisler, M.C. 2014. Trematode infections in cattle in Arumeru District, Tanzania are associated with irrigation. *Parasites & Vectors*, 7:107.
- Olaechea, F. 2004. *Fasciola hepatica*. Comunicación técnica N° 449. Área de Producción animal. Edición: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Patagonia Norte. Argentina. Disponible en: <http://personal.crocodoc.com/dVIMyD3>
- Olaechea, F.; Lovera, V.; Larroza, M.; Raffo, F.; Cabrera, R. 2011. Resistance of *Fasciola hepatica* against triclabendazole in cattle in Patagonia (Argentina). *Veterinary Parasitology* 178; 364–366.
- Olsen, A.; Frankena, K.; Bodker, R.; Toft, N.; Thamsborg, S.; Enemark, H.; Halasa, T. 2015. Prevalence, risk factors and spatial analysis of liver fluke infections in Danish cattle herds. *Parasites & Vectors* 8:160.
- Ortiz, P.; Scarcella, S.; Cerna, C.; Rosales, C.; Cabrera, M.; Guzmán, M.; Lamenza, P.; Solana, H. 2013. Resistance of *Fasciola hepatica* against Triclabendazole in cattle in Cajamarca (Peru): A clinical trial and an in vivo efficacy test in sheep. *Veterinary Parasitology* 195; 118– 121.

- Othaix, L. 2014. Estudio comparativo de los endoparásitos en bovinos Bonsmara-Hereford y Hereford puros en iguales condiciones de manejo (Tesis de posgrado). Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- Páucar, S. 2008. Prevalencia de fasciolosis y paramphistomosis en el ganado lechero de tres distritos de la provincia de Oxapampa, Pasco (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Páucar, S.S.; Chávez, A.V.; Casas, EA.; Suárez, F.A. 2010. Prevalencia de fascioliasis y paramphistomiasis en el ganado lechero de Oxapampa, Pasco. Rev. Inv. Vet., Perú 21: 87-92.
- Pérez, D.J. 2007. Introducción a los Sensores Remotos – Aplicaciones en Geología. Curso teórico-práctico. Universidad de Buenos Aires, Argentina. Disponible en: [http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso\\_SR/Guia\\_Curso\\_sr\\_2007.pdf](http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/Guia_Curso_sr_2007.pdf)
- Pinheiro, J.; Maldonado, A.; Attias, M.; Lanfredi, R. 2004. Morphology of the rediae of *Echinostoma paraensei* (Trematoda: Echinostomatidae) from its intermediate host *Lymnaea columella* (Mollusca, Gastropoda). Parasitology research, 93:171-177.
- Pitarque, A.; Roy, J.F.; Ruiz, J.C. 1998. Redes neurales vs modelos estadísticos: Simulaciones sobre tareas de predicción y clasificación. Psicológica. 19, 387-400.
- Prepelitchi, L. 2009. Ecoepidemiología de *Fasciola hepatica* (Trematoda, Digenea) en el norte de la provincia de Corrientes destacando aspectos ecológicos de *Lymnaea columella* (Pulmonata, Lymnaeidae) y su rol como hospedador intermediario (Tesis de posgrado). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Pulido, V.; Castañeda, S.; Arbeláez, G. 2010. *Fasciola hepatica*: Pedagogía de diagnóstico por laboratorio y su situación en Colombia. REDVET. Revista electrónica de Veterinaria 1695-7504. Volumen 12, Número 5B.

- Raffo, F. 2013. Desarrollo de un sistema de información geográfica para la evaluación del riesgo de ocurrencia de fasciolosis en el ganado patagónico (Tesis de posgrado). Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Raju, PLN. 2003. Fundamentals of geographical information system. Proc. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology, Training Workshop. Dehra Dun, India. pp: 113.
- Rangel, L.; Martínez, E. 1994. Pérdidas económicas por decomiso de hígados y distribución geográfica de la fasciolosis bovina en el estado de tabasco, México. Vet. Mex. 25(4):327-31.64.
- Rapsch, C.; Schweizer, G.; Grimm, F.; Kohler, L.; Bauer, C.; Deplazes, P.; Braun, U.; Torgerson, P.R. 2006. Estimating the true prevalence of *Fasciola hepatica* in cattle slaughtered in Switzerland in the absence of an absolute diagnostic test. International Journal for Parasitology 36, 1153–1158.
- Raunelli, F.; González, S. 2009. Strategic control and prevalence of *Fasciola hepatica* en Cajamarca, Peru. A pilot study. Intern. J. Appli. Res. Vet. Med. 7(4):145-52.
- Raymundo, L.A.; Flores, V.M.; Terashima, A.; Samalvides, F.; Miranda, E.; Tantalean, M. *et al.* 2004. Hiperendemicidad de fasciolosis humana en el Valle del Mantaro, Perú: factores de riesgo de la infección por *Fasciola hepatica*. Rev. Gastroenterol Perú; 24(2):158-64.
- Rinaldi, L.; Biggeri, A.; Musella, V.; De Waal, T.; Hertzberg, H.; Mavrot, F.; Torgerson, P.R.; Selemetas, N.; Coll, T.; Bosco, A. 2015. Sheep and *Fasciola hepatica* in Europe: the GLOWORM experience. Geospat. Health. 9(2): 309–317.
- Rojas, M. 2004. Nosoparasitosis de los rumiantes domésticos peruanos. 2 ed. Editorial Martegraf e.i.r.l. p. 37-41.

- Rokni, M.B.; Mirhendi, M.; Behnia, M.; Harandi, M.F.; Jalalizand, N. 2010. Molecular characterization of *Fasciola hepatica* isolates by RAPDPCR and ribosomal ITS1 sequencing. *Iran. Red Cres. Med. J.* 12, 27–32.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS Proceeding. Third Earth Reserves Technology Satellite Symposium, Greenbelt: NASA SP-351. 30103017
- Roy, D.; Wulder, M.; Loveland, T.; Woodcock, C.E.; Allen, R.; Anderson, M.; Helder, D.; Irons, J.R.; Johnson, D.; Kennedy, R.; Scambos, T.; Schaaf, C.B.; Schott, J.R.; Sheng, Y.; Vermote, E.; Belward, A.; Bindschadler, R.; Wohen, W.B.; Gao, F.; Zhu, Z. 2014. Landsat-8: Science and Product Vision for Terrestrial Global Change Research. *Remote Sensing of Environment* 145; 154-172.
- Sánchez, D. 2016. Redes Neuronales en la asociación de Variables Zootécnicas con la infestación por *Fasciola hepatica* en rebaños lecheros (tesis de posgrado). Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz. Camagüey, Cuba.
- Schweizer, G.; Braun, U.; Deplazes, P.; Torgerson, P.R. 2005. Estimating the financial losses due to bovine fasciolosis in Switzerland. *Veterinary Record* 157, 188–193.
- Selemetas, N.; De Waal, T. 2015c. Detection of major climatic and environmental predictors of liver fluke exposure risk in Ireland using spatial cluster analysis. *Veterinary Parasitology* 209, 242–253.
- Selemetas, N.; Ducheyne, E.; Phelan, P.; O’Kiely, P.; Hendrickx, G.; De Waal, T. 2015a. Spatial analysis and risk mapping of *Fasciola hepatica* infection in dairy herds in Ireland. *GeospatialHealth* 9(2) 281-291.
- Selemetas, N.; Phelan, P.; O’Kiely, P.; De Waal, T. 2014. Weather and soil type affect incidence of fasciolosis in dairy cow herds. *Veterinary Record* 175: 371.



- Selemetas, N.; Phelan, P.; O’Kiely, P.; De Waal, T. 2015b. Cluster analysis of fasciolosis in dairy cow herds in Munster province of Ireland and detection of major climatic and environmental predictors of the exposure risk. *Geospatial Health* 9(2), pp. 271-279.
- Serbin, G.; Hunt, E.R.; Daughtry, C.S.T.; McCarty, G.W.; Doraiswamy, P.C. 2009. An Improved ASTER Index for Remote Sensing of Crop Residue. *Remote Sens.* 1, 971-991.
- Sierra, R.; Martínez, R.A.; Gutiérrez, R.; Colmenares, C.D.; Uribe, N. 2017. Estandarización de ELISA para el diagnóstico de fasciolosis bovina, ovina y humana. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud* Vol. 49 No. 4.
- Silva, A.; Víctor De Araújo, J.; Ribeiro, F.; Azevêdo, O.; Ribeiro, V.; Zacarias, V. 2014. Comparison among three techniques in the parasitological diagnosis of *Fasciola hepatica* in cattle. *Archives of Veterinary Science*, v.19, n.1, p.32-37.
- Styczynska-Jurewicz, E. 1965. The influence of a brackish environment on the development of eggs and viability of miracidia of *Fasciola hepatica*. *Acta parasitologica polonica*, 13, 483-49.
- Thrusfield, 1990. *Epidemiologia veterinaria*. Zaragoza, España. Editorial Acribia, S.A. Pág. 195-197.
- Ticona, S.; Chávez, V.; Casas, V.; Chavera, C.; Li, E. 2010. Prevalencia de *Fasciola hepatica* en bovinos y ovinos de Vilcashuamán, Ayacucho. *Rev. Inv.* 21 (2): 168-174.
- Torgerson, P.; Claxton, J. 1999. Epidemiology and Control. In: *Fasciolosis*. Dalton, J.P. Editor. CAB International: 113-150.
- Tueller, 1989. Remote sensing technology for rangeland management applications. *J Range Manag* 42:442-53.

- Tum, S.; Puotinen, M.L.; Copeman, D.B. 2004. A geographic information systems model for mapping risk of fasciolosis in cattle and buffaloes in Cambodia. *Veterinary Parasitology* 122; 141–149.
- Valderrama, P. 2016. Prevalencia de fascioliasis en animales poligástricos de Perú, 1985-2015. *Rev Med Vet.* (32):121129.
- Valencia, M.; Pariona, D.; Huamán, A.; Miranda, M.; Quintanilla, C.; Gonzáles, A. 2005. Seroprevalencia de Fasciolosis en escolares y en ganado vacuno en la provincia de Huancavelica, Perú. *Rev. Perú Med. Exp. Salud Pública* 22(2).
- Valencia-López, N.; Malone, J.; Gómez, C.; Velásquez, L. 2012. Climate-based risk models for *Fasciola hepatica* in Colombia. *Geospatial Health* 6(3), pp. S75-S85.
- Vargas, R. 2013. Parasitismo gastrointestinal en cuyes (*Cavia porcellus*) de crianza familiar comercial del distrito de Oxapampa-Pasco; durante las épocas de lluvia y seca (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Verhulst, N.; Govaerts, B. 2010. The normalized difference vegetation index (NDVI) GreenSeeker™ handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management. Part A: Concepts and case studies. Mexico, D.F.; CIMMYT. *Vet. Perú;* 21 (2):168-174.
- Vignoles, P.; Rondelaud, D.; Dreyfuss, G. 2016. Aptitude of *Lymnaea palustris* and *L. stagnalis* to *Fasciola hepatica* larval development through the infection of several successive generations of 4-mm-high snails. *G. Parasitol Res.* 115: 2263.
- Vilhena, F.I.; Rauta De Avelar, B.; Salim, M.; Da Fonseca, A. 2012. Application of a geographical information system approach for risk analysis of fascioliasis in southern Espirito Santo state, Brazil. *Geospatial Health* 6(3), pp. S87-S93.
- Yilma, J.M.; Malone, J.B. 1998. A geographic information system forecast model for strategic control of fasciolosis in Ethiopia. Elsevier, *Veterinary Parasitology* 78: 103-127.

Zajac, A.; Conboy, G. 2012. Veterinary Clinical Parasitology. 8th Edition. Willey-blackWell edition. Cap. 1. p. 4-12.

## VII. ANEXOS

**Anexo 1: Formato de registro de los animales muestreados por cada productor de las zonas de estudio.**

	Laboratorio de Parasitología - Facultad de Zootecnia - UNALM						
<b>Formato de Muestreo</b>							
<b>Localidad:</b>		<b>Especie: Vacuno</b>				<b>Fecha:</b>	
<b>Productor/Teléfono</b>	<b>Código</b>	<b>Identificación</b>	<b>Raza</b>	<b>Edad</b>	<b>Peso</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Última dosificación</b>
							<b>Producto</b>
<b>Cantidad De Animales</b>							
Total:							
Vacas Pdx:							<b>Principio Activo</b>
Prom. Pdx (lt/d):							
Vacas:							
Vaquillona:							<b>Periodo Dosificación</b>
Vaquilla:							
Crias:							
<b>Productor/Teléfono</b>							
							<b>Producto</b>
<b>Cantidad De Animales</b>							
Total:							
Vacas Pdx:							<b>Principio Activo</b>
Prom. Pdx (lt/d):							
Vacas:							
Vaquillona:							<b>Periodo Dosificación</b>
Vaquilla:							
Crias:							
<b>CLAVES: Razas: H= Holstein HR= Holstein Roja BS= Brown Swiss Y= Jersey SEXO: H = Hembra M = Macho</b>							

**Anexo 2: Formato de ficha técnica para la anotación de los resultados obtenidos del procesamiento de muestras de heces de vacunos para la detección de huevos de *Fasciola hepatica* mediante la técnica Flukekinder®.**

LABORATORIO DE PARASITOLOGÍA – FACULTAD DE ZOOTECNIA – UNALM

Examen de detección de huevos de *Fasciola hepatica*: Técnica de Fluke Finder

Especie: \_\_\_\_\_ Granja: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Remitente: \_\_\_\_\_

Fecha de muestreo: \_\_\_\_\_ Fecha de recepción: \_\_\_\_\_ Fecha de análisis: \_\_\_\_\_

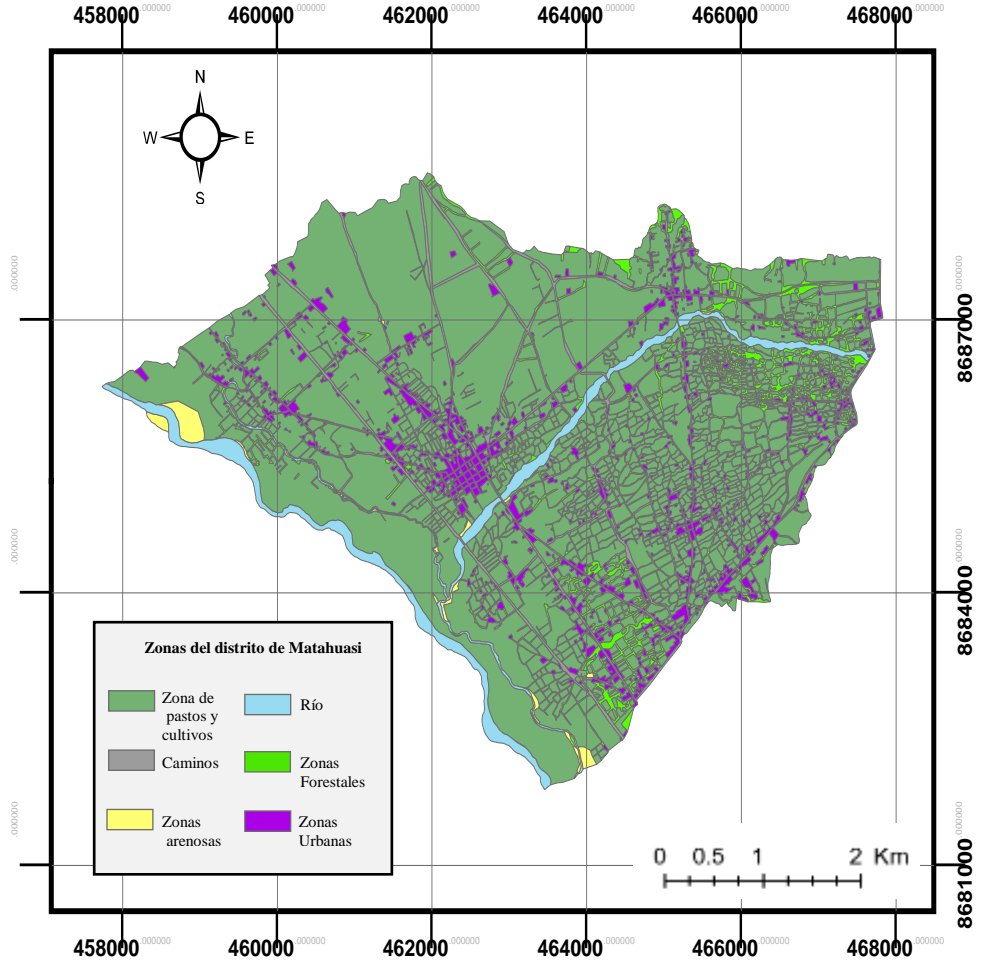
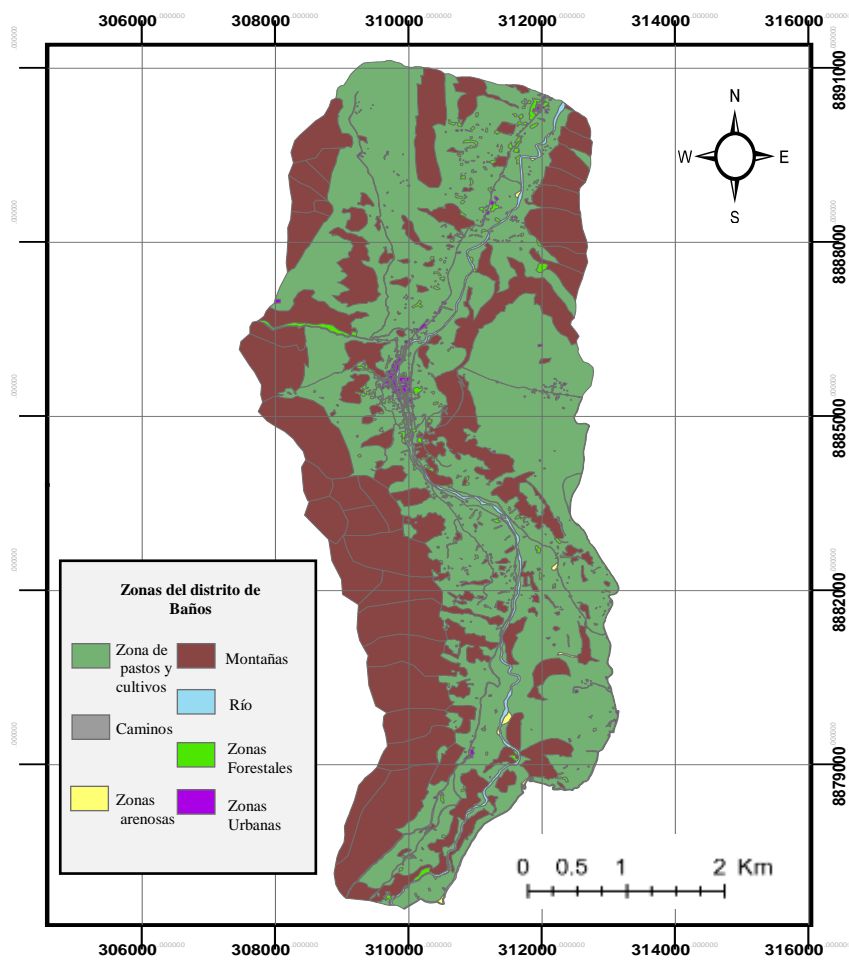
Cantidad (gr): \_\_\_\_\_ Factor: \_\_\_\_\_

Responsable: \_\_\_\_\_

N	Identificación	F. hepatica	Carga
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

N	Identificación	F. hepatica	Carga
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

**Anexo 3: Digitalización de las áreas de estudio. Zona de estudio en Baños, Lauricocha, Huánuco (Izquierda). Zona de estudio en Matahuasi, Concepción, Junín (Derecha).**

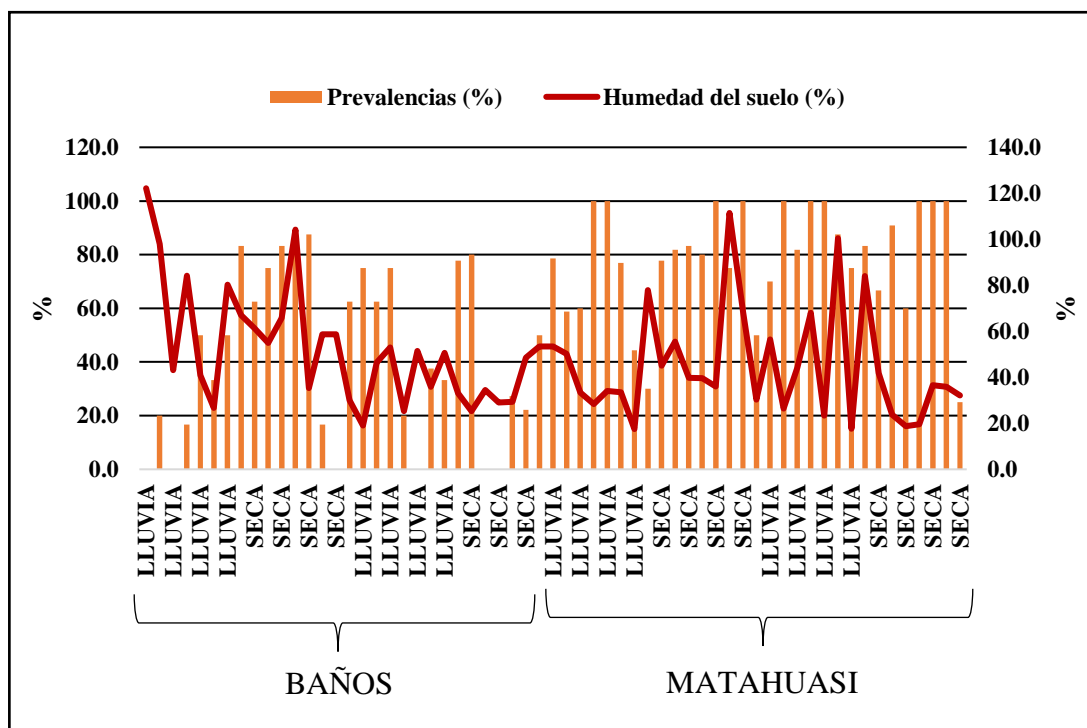


**Anexo 4: Prevalencias mensuales (%) de *Fasciola hepatica* en vacunos lecheros del distrito de Matahuasi y Baños.**

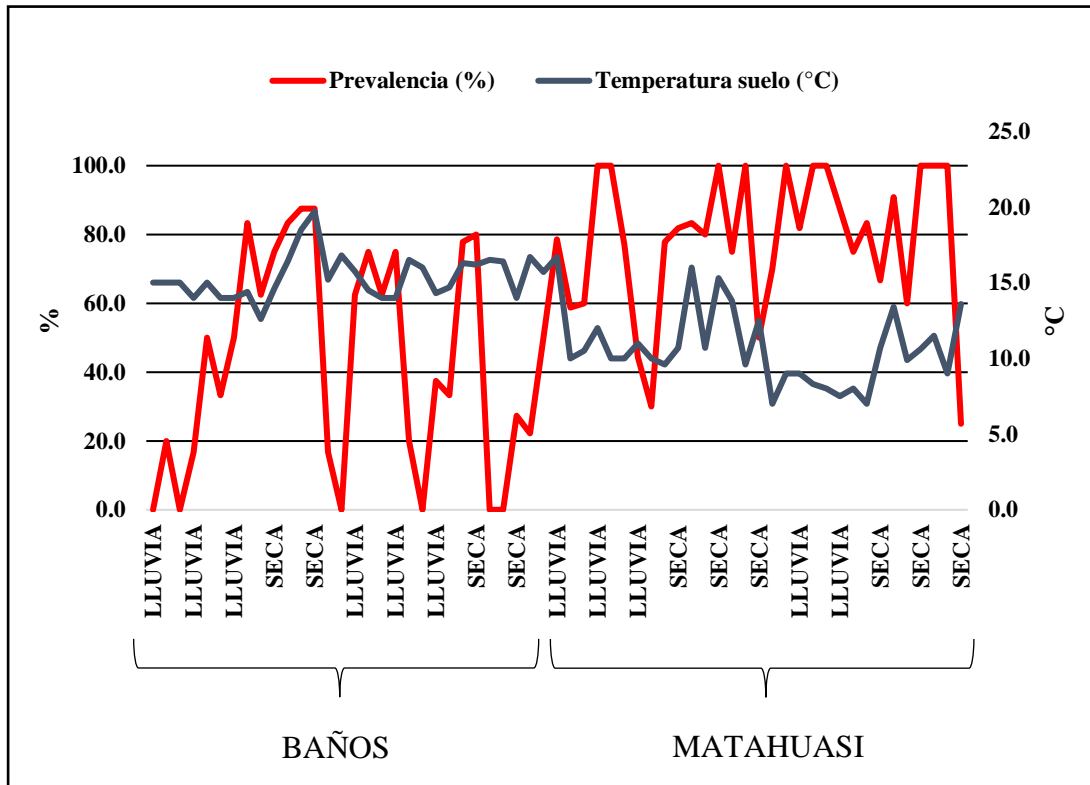
Área de estudio	Meses de muestreo	Total	Cantidad de animales positivos		
			n	%	IC (95 %)
Matahuasi	Feb-16	50	30	60.00	± 13.6
	Jul-16	51	41	80.39	± 10.9
	Dic-16	53	40	75.47	± 11.6
	Feb-17	57	49	85.96	± 9.0
	Jun-17	56	43	76.79	± 11.1
Baños	Feb-16	57	25	43.86	± 12.9
	Jul-16	55	36	65.45	± 12.6
	Nov-16	56	30	53.57	± 13.1
	Mar-17	58	28	48.28	± 12.9
	Ago-17	54	20	37.04	± 12.9

Nota: “n” representa al número de animales positivos al diagnóstico del parásito. IC representa el intervalo de confianza al 95 %.

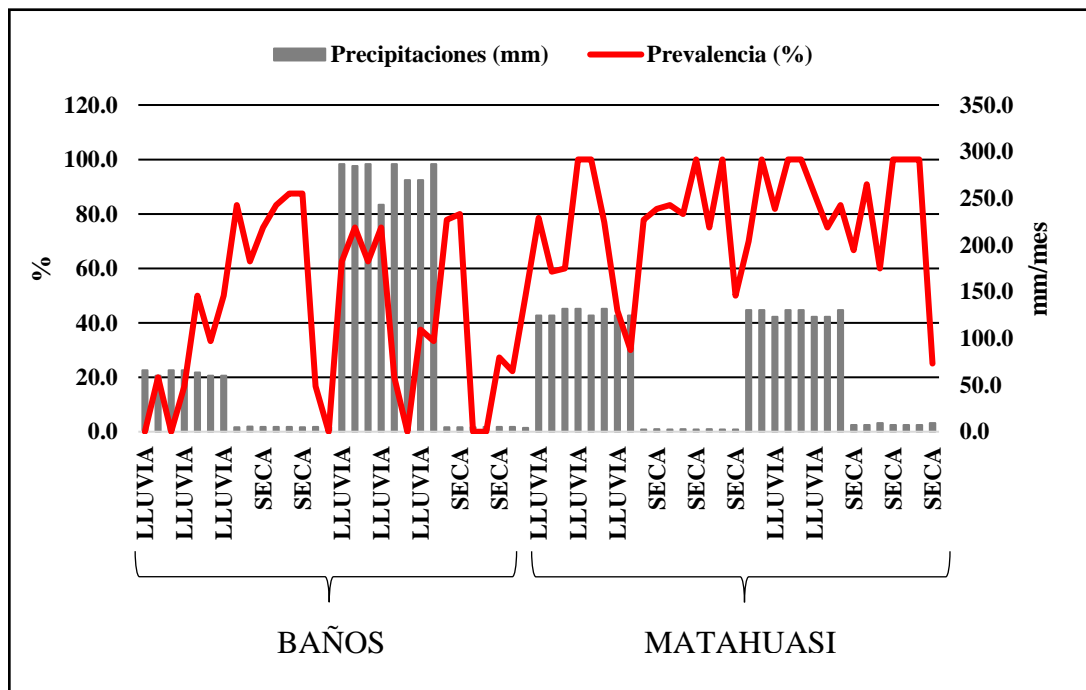
**Anexo 5: Humedad del suelo (%) /por productor/época y prevalencias de *Fasciola hepatica* (%) /por productor/por época en Matahuasi y Baños.**



**Anexo 6: Temperaturas de suelo (°C) /por productor/época y prevalencias de *Fasciola hepatica* (%) /por productor/por época en Matahuasi y Baños.**

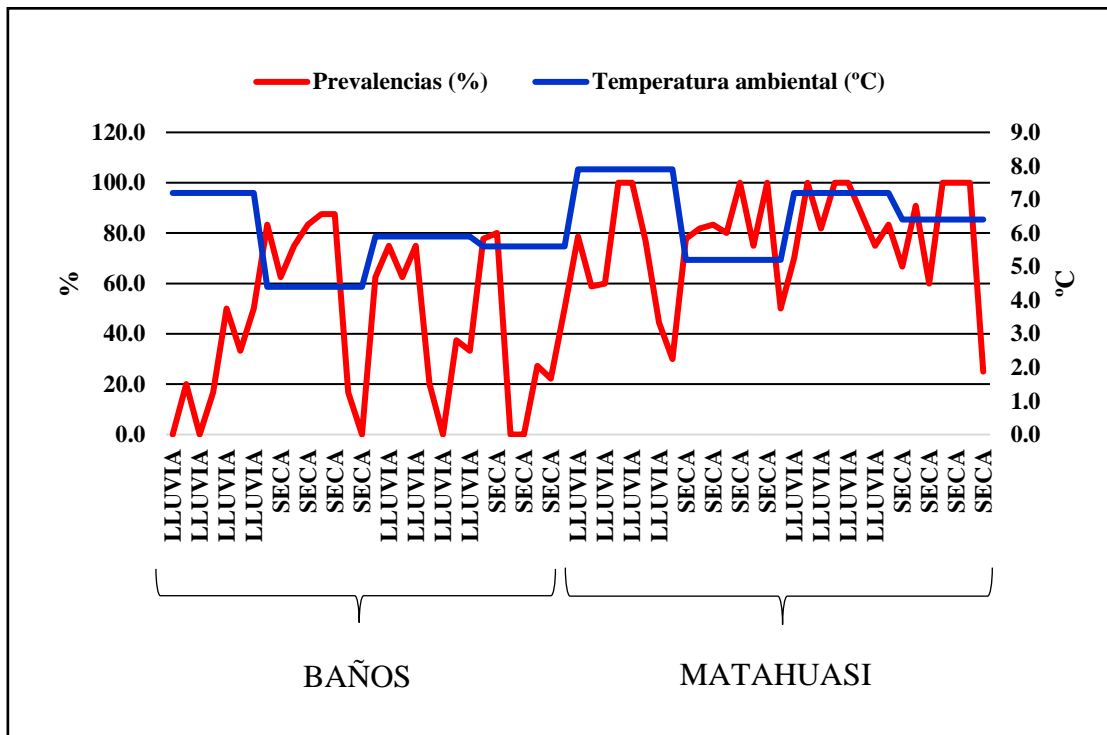


**Anexo 7: Precipitaciones mensuales (mm) /por productor/época y prevalencias de *Fasciola hepatica* (%) /por productor/por época en Matahuasi y Baños.**

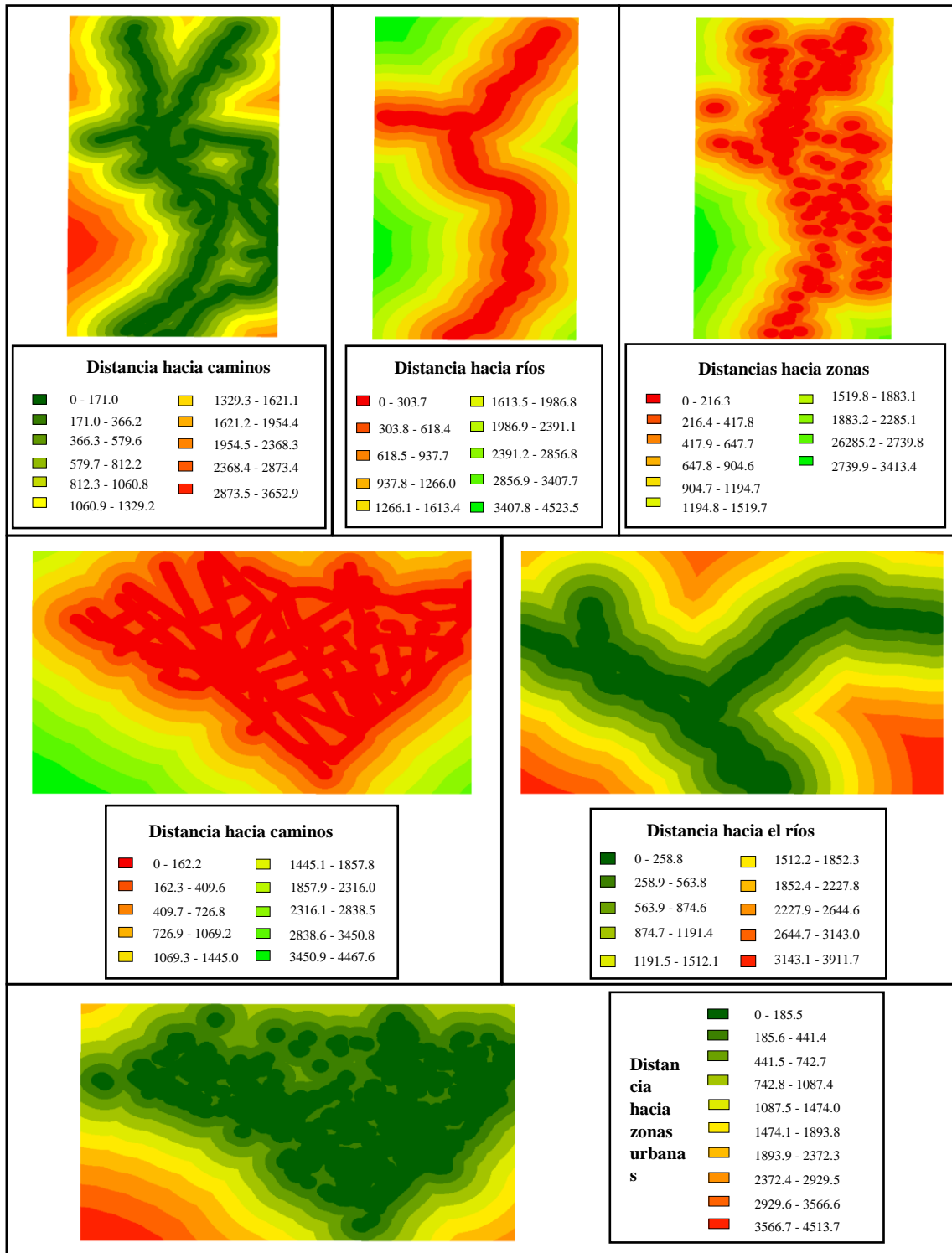




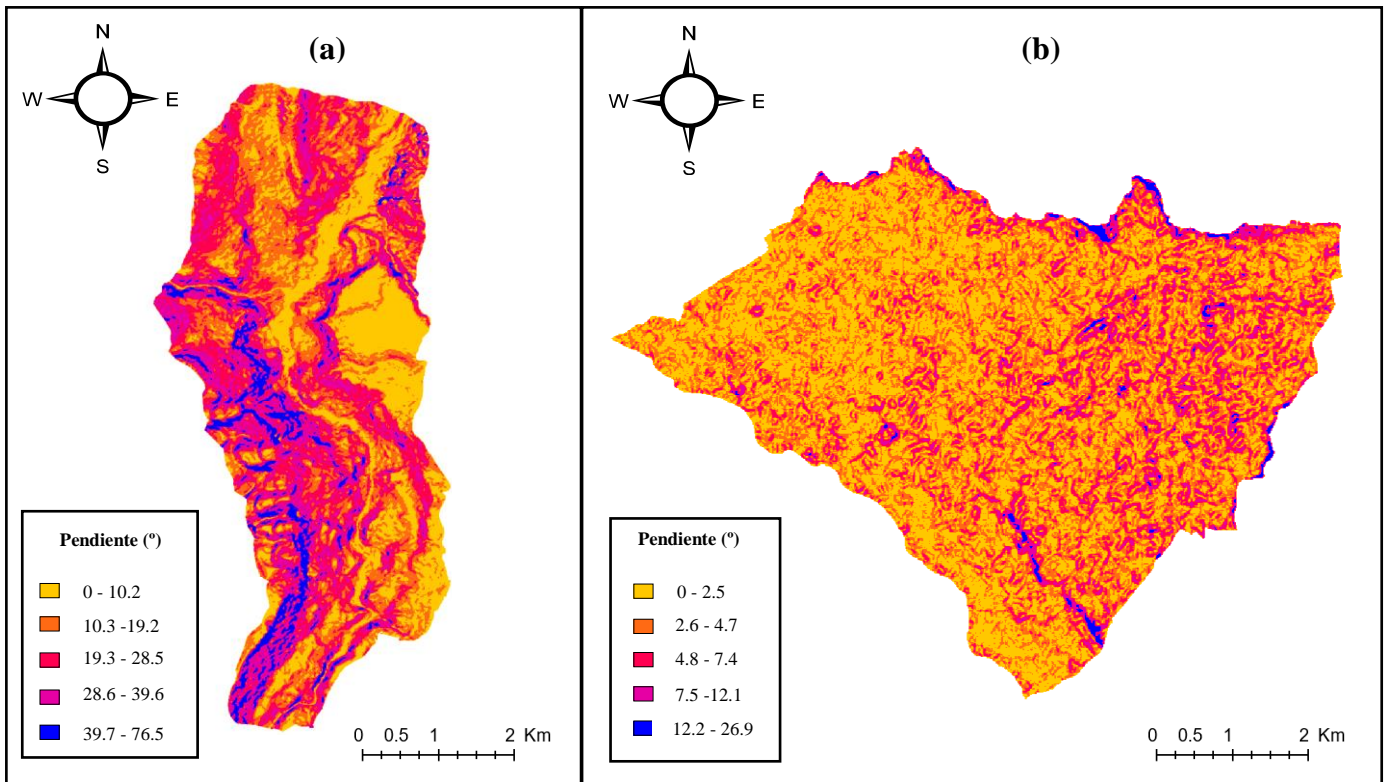
**Anexo 8: Temperaturas ambientales mensuales (°C) /por productor/época y prevalencias de *Fasciola hepatica* (%) /por productor/por época en Matahuasi y Baños**



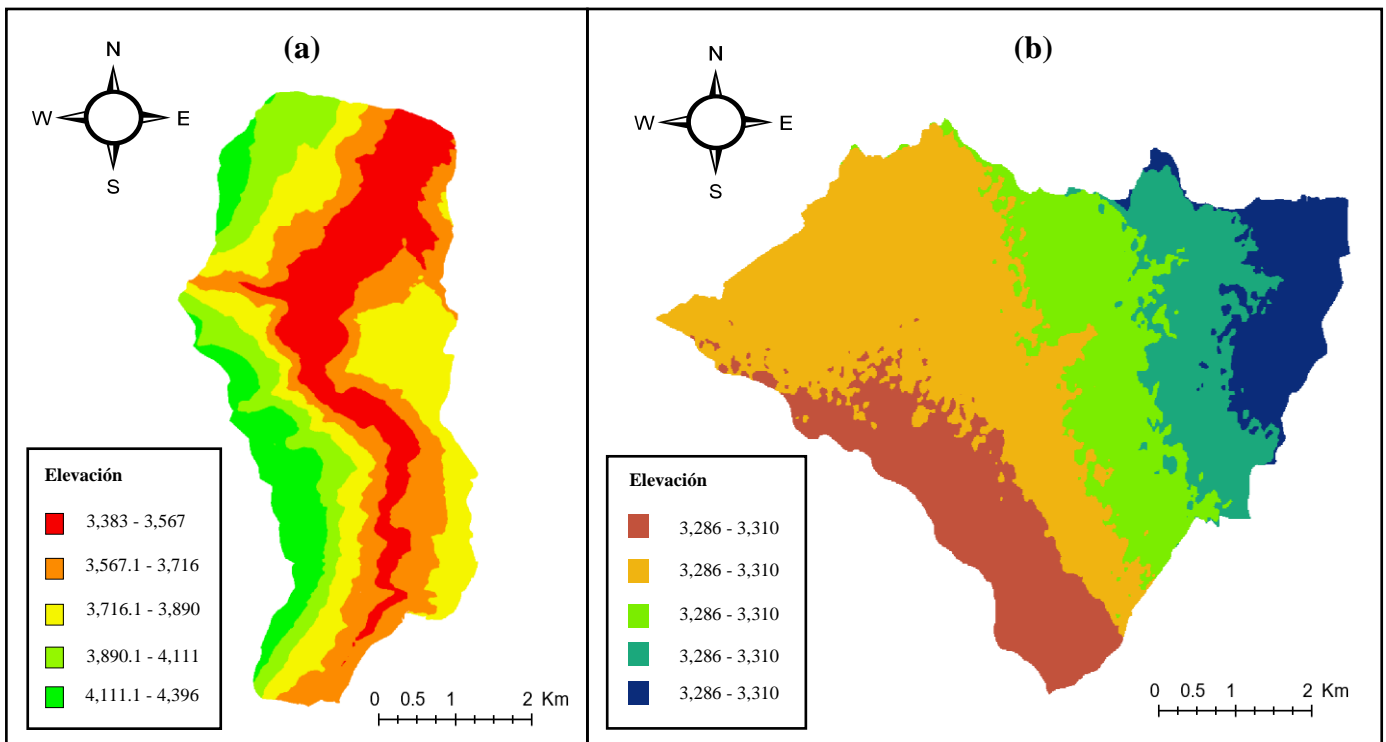
**Anexo 9: Imágenes de las distancias (m) desde zonas de pastoreo hacia ríos, zonas urbanas y caminos en Baños y Matahuasi.**



**Anexo 10: Imágenes satelitales de pendientes (°) en Baños y Matahuasi.**

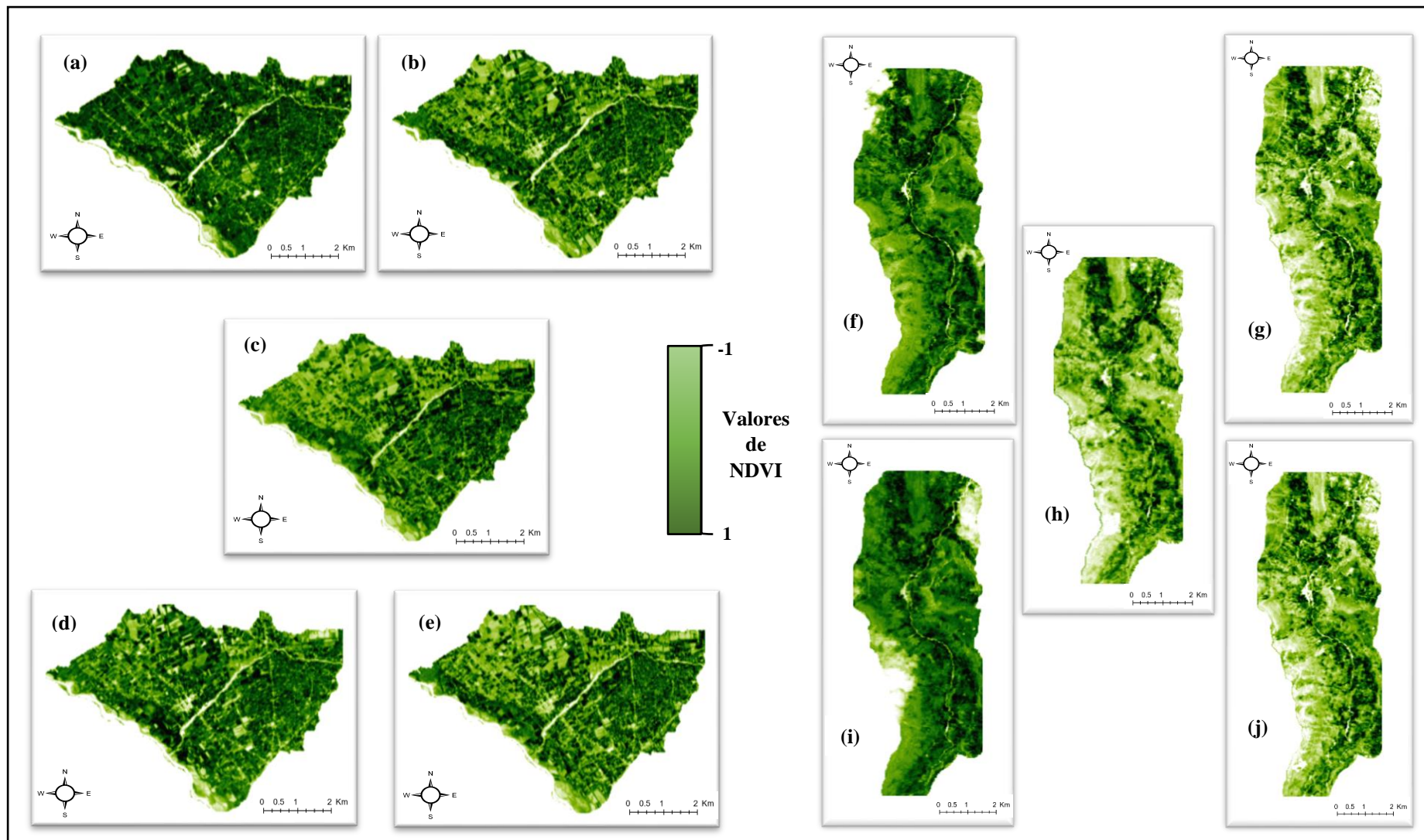


**Anexo 11: Imágenes satelitales de elevación (msnm) en Baños y Matahuasi.**



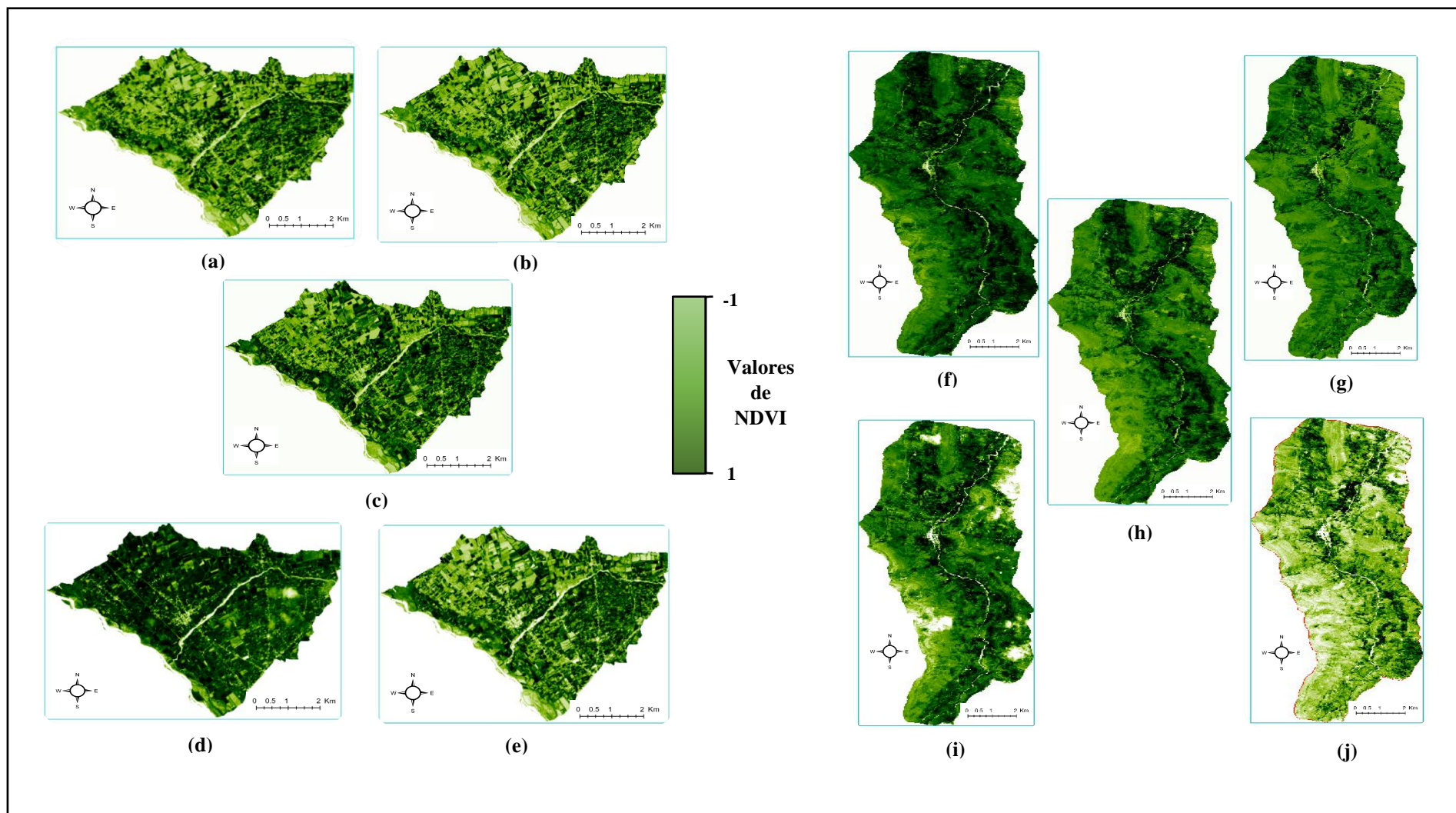
## Anexo 12: Imágenes satelitales de índices de NDVI extraídos desde imágenes Landsat 8 de Matahuasi y Baños.

Nota: Imágenes extraídas en ene-16 (a), jun-16 (b), oct-16 (c), dic-16 (d) y jul-17 (e) en Matahuasi; y en dic-15 (f), jun-16 (g), nov-16 (h), ene-17 (i) y jun-17 (j) en Baños.



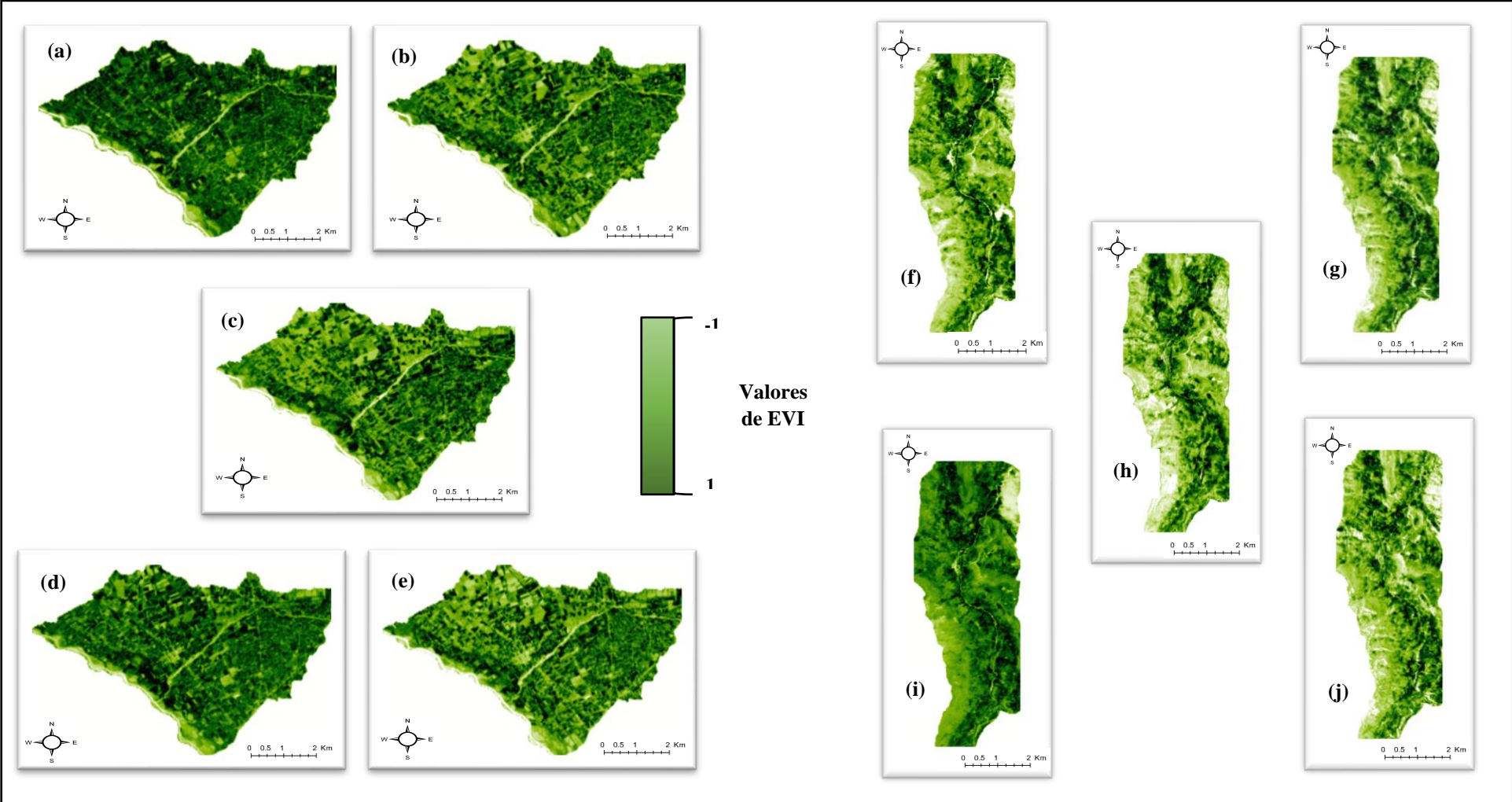
### Anexo 13: Imágenes satelitales de índices de NDVI extraídos desde imágenes Sentinel 2 de Matahuasi y Baños.

Nota: Imágenes extraídas en abr-16 (a), agos-16 (b), nov-16 (c), feb-17 (d) y jul-17 (e) en Matahuasi; y en en-16 (f), jul-16 (g), nov-16 (h), abr-17 (i) y agos-17 (j) en Baños.



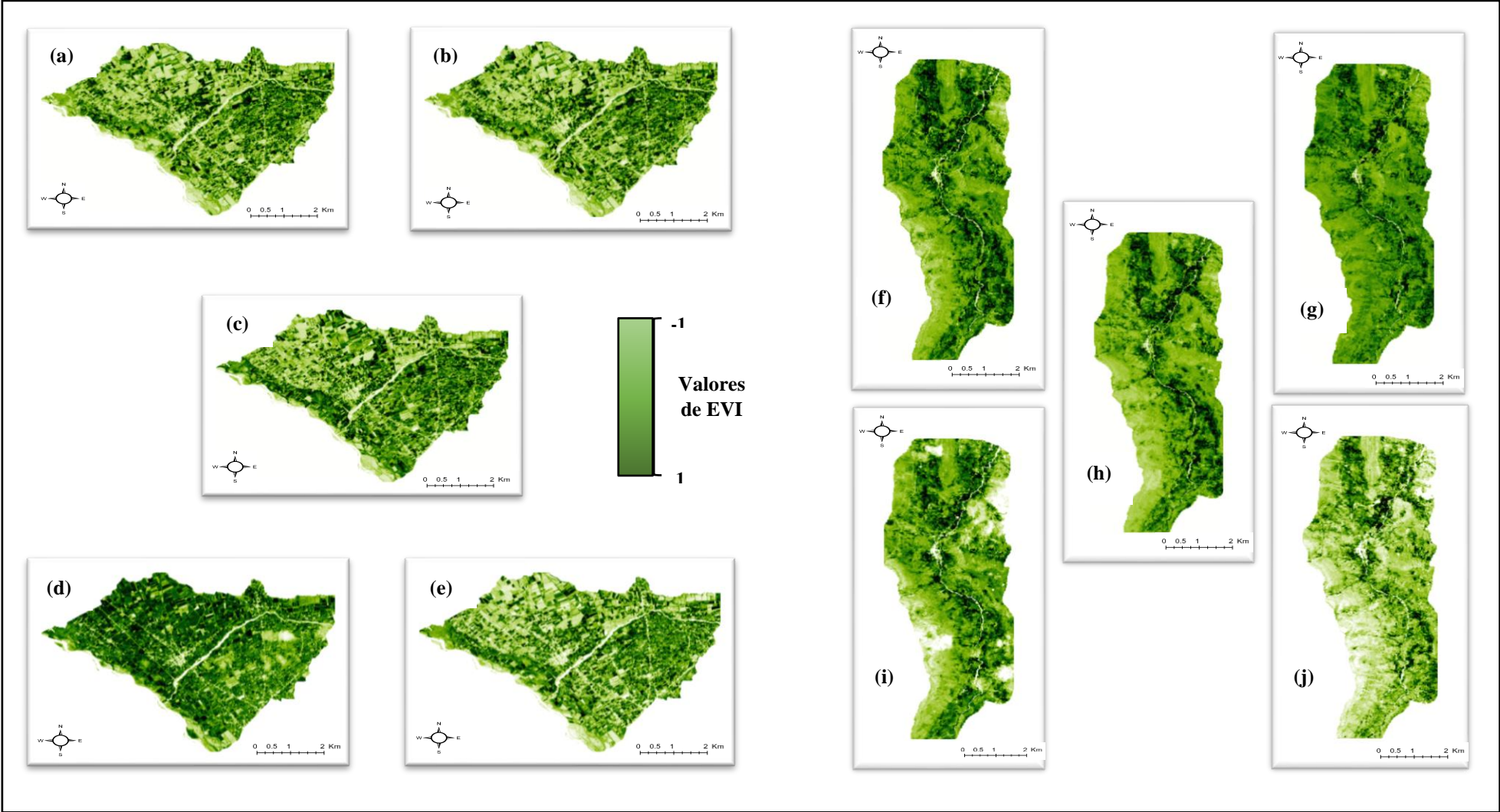
**Anexo 14: Imágenes satelitales de índices de EVI extraídos desde imágenes Landsat 8 de Matahuasi y Baños.**

Nota: Imágenes extraídas en ene-16 (a), jun-16 (b), oct-16 (c), dic-16 (d) y jul-17 (e) en Matahuasi; y en dic-15 (f), jun-16 (g), nov-16 (h), ene-17 (i) y jun-17 (j) en Baños.



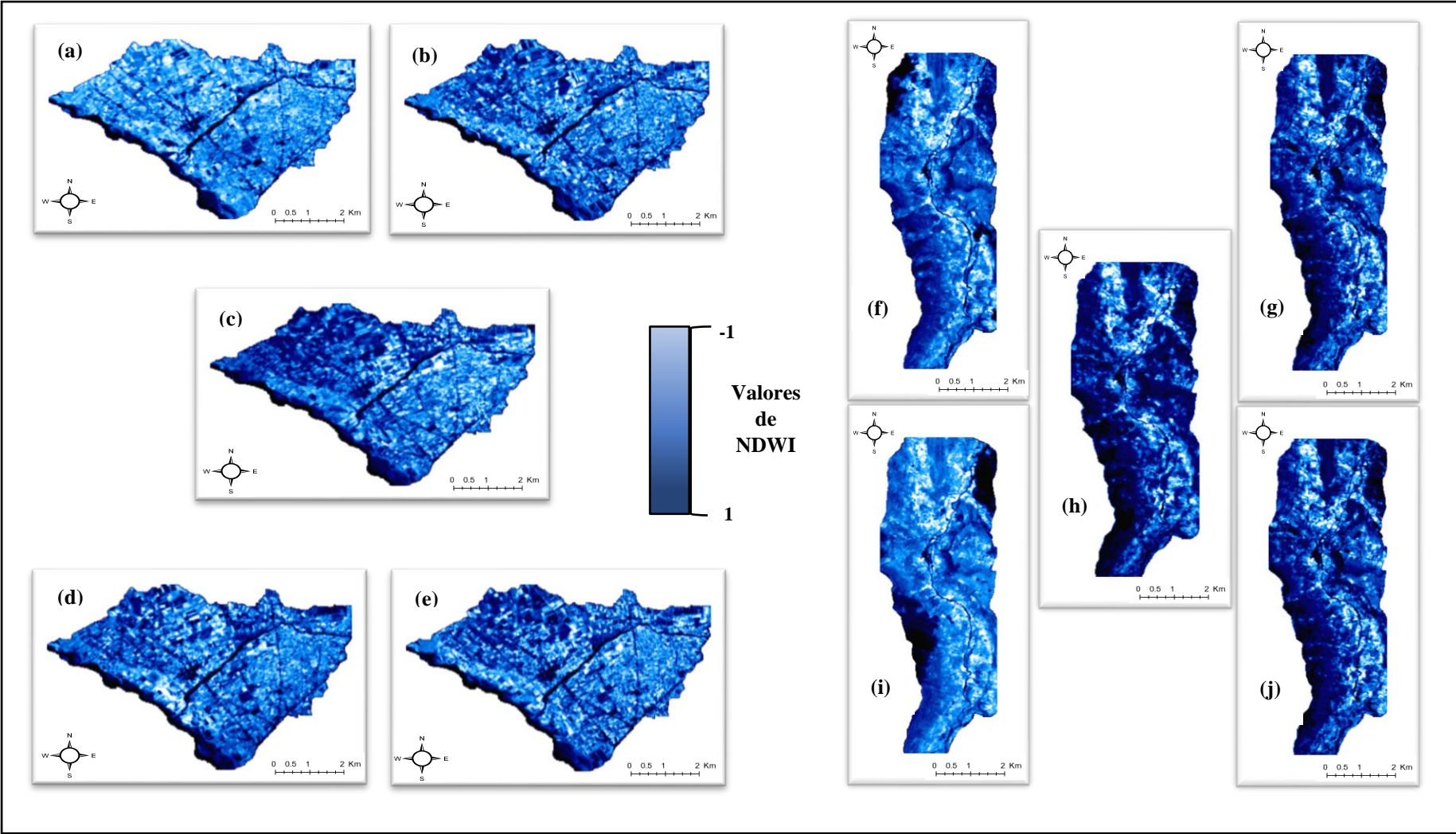
**Anexo 15: Imágenes satelitales de índices de EVI extraídos desde imágenes Sentinel 2 de Matahuasi y Baños.**

Nota: Imágenes extraídas en abr-16 (a), agos-16 (b), nov-16 (c), feb-17 (d) y jul-17 (e) en Matahuasi; y en en-16 (f), jul-16 (g), nov-16 (h), abr-17 (i) y agos-17 (j) en Baños.



**Anexo 16: Imágenes satelitales de índices de NDWI extraídos desde imágenes Landsat 8 de Matahuasi y Baños.**

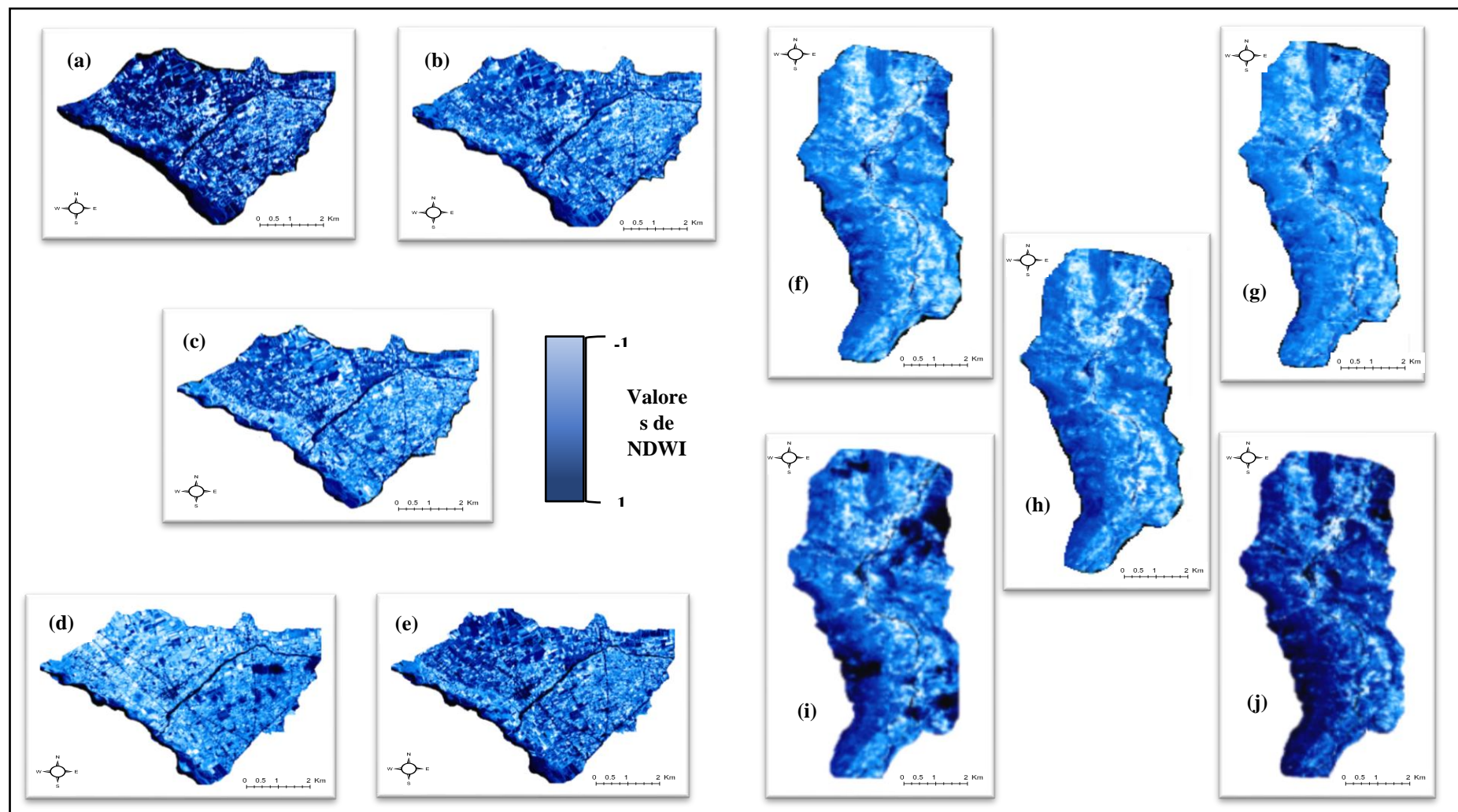
Nota: Imágenes extraídas en ene-16 (a), jun-16 (b), oct-16 (c), dic-16 (d) y jul-17 (e) en Matahuasi; y en dic-15 (f), jun-16 (g), nov-16 (h), ene-17 (i) y jun-17 (j) en Baños.





### Anexo 17: Imágenes satelitales de índices de NDWI extraídos desde imágenes Sentinel 2 de Matahuasi y Baños.

Nota: Imágenes extraídas en abr-16 (a), agos-16 (b), nov-16 (c), feb-17 (d) y jul-17 (e) en Matahuasi; y en en-16 (f), jul-16 (g), nov-16 (h), abr-17 (i) y agos-17 (j) en Baños



**Anexo 18: Información de las prevalencias de *Fasciola hepatica* (%), la categorización del riesgo y de las variables ambientales en ambos distritos por cada área de pastoreo evaluada por época. \*Índices de vegetación y agua obtenidos de imágenes Landsat 8. \*\*Índices de vegetación y agua obtenidos de imágenes Sentinel 2.**

Área de estudio	Año	Época	Prevalencia (%)	Riesgo <i>F. hepatica</i>	Distancia hacia río (m)	Distancia hacia zonas urbanas (m)	Distancia hacia caminos (m)	Pendiente (°)	Elevación (msn m)	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	NDVI *	NDWI *	EVI *	NDVI **	NDWI **	EVI **	Temperatura del suelo	Humedad del suelo
BAÑOS	2016	SECA	83.3	ALTO	926.6	210.0	899.1	6.5	3797.0	4.7	4.4	0.53	-0.54	0.37	0.30	-0.42	0.16	15.0	122.2
BAÑOS	2016	SECA	62.5	ALTO	165.0	138.3	45.0	4.0	3402.0	5.4	4.4	0.67	-0.64	0.58	0.43	-0.51	0.28	15.0	97.9
BAÑOS	2016	SECA	75.0	ALTO	750.6	120.9	333.1	12.2	3597.0	5.2	4.4	0.78	-0.73	0.69	0.27	-0.39	0.14	15.0	43.1
BAÑOS	2016	SECA	83.3	ALTO	106.1	109.2	134.2	8.7	3425.0	5.2	4.4	0.80	-0.70	0.62	0.66	-0.62	0.52	14.0	84.2
BAÑOS	2016	SECA	87.5	ALTO	1548.7	87.5	21.2	11.4	3805.0	5.2	4.4	0.46	-0.50	0.32	0.38	-0.45	0.21	15.0	40.9
BAÑOS	2016	SECA	87.5	ALTO	2486.2	67.1	138.3	16.7	3987.0	4.7	4.4	0.91	-0.79	0.80	0.43	-0.48	0.26	14.0	26.6
BAÑOS	2016	LLUVIA	0.0	BAJO	242.3	251.4	47.4	20.6	3604.0	65.8	7.2	0.59	-0.54	0.48	0.78	-0.67	0.75	14.0	80.3
BAÑOS	2016	LLUVIA	20.0	BAJO	90.0	232.9	135.8	4.6	3417.0	60.1	7.2	0.78	-0.70	0.76	0.69	-0.60	0.56	14.4	67.0
BAÑOS	2016	LLUVIA	0.0	BAJO	398.6	195.6	67.1	22.5	3626.0	65.8	7.2	0.79	-0.70	0.76	0.77	-0.67	0.75	12.6	61.4
BAÑOS	2016	SECA	16.7	BAJO	265.8	84.9	47.4	13.6	3437.0	5.2	4.4	0.69	-0.63	0.52	0.53	-0.54	0.35	14.6	55.0
BAÑOS	2016	LLUVIA	16.7	BAJO	61.8	60.0	285.0	12.2	3531.0	65.8	7.2	0.86	-0.75	0.84	0.75	-0.64	0.66	16.4	65.8
BAÑOS	2016	SECA	0.0	BAJO	61.8	60.0	285.0	12.2	3531.0	4.7	4.4	0.90	-0.78	0.83	0.55	-0.56	0.38	18.5	104.2
BAÑOS	2016	LLUVIA	50.0	MODERADO	165.0	138.3	45.0	4.0	3402.0	63.3	7.2	0.78	-0.70	0.77	0.68	-0.60	0.54	19.7	35.3
BAÑOS	2016	LLUVIA	33.3	MODERADO	106.1	109.2	134.2	8.7	3425.0	60.1	7.2	0.85	-0.75	0.83	0.75	-0.67	0.68	15.2	58.7
BAÑOS	2016	LLUVIA	50.0	MODERADO	265.8	84.9	47.4	13.6	3437.0	60.1	7.2	0.75	-0.66	0.69	0.76	-0.66	0.68	16.8	58.7
MATAHUASI	2016	LLUVIA	78.6	ALTO	106.1	520.7	117.2	1.8	3306.0	124.4	7.9	0.62	-0.57	0.58	0.72	-0.64	0.61	15.8	30.0
MATAHUASI	2016	SECA	77.8	ALTO	106.1	520.7	117.2	1.8	3306.0	2.3	5.2	0.81	-0.71	0.68	0.66	-0.61	0.51	14.5	19.1
MATAHUASI	2016	LLUVIA	58.8	ALTO	42.4	453.5	249.7	3.2	3306.0	124.4	7.9	0.73	-0.65	0.71	0.64	-0.58	0.47	14.0	46.5
MATAHUASI	2016	LLUVIA	60.0	ALTO	1177.4	262.0	106.1	3.2	3336.0	131.6	7.9	0.50	-0.49	0.46	0.28	-0.35	0.16	14.0	53.0
MATAHUASI	2016	SECA	81.8	ALTO	1177.4	262.0	106.1	3.2	3336.0	2.7	5.2	0.70	-0.62	0.61	0.14	-0.26	0.06	16.5	25.3

MATAHU ASI	2016	LLUVIA	100.0	ALTO	460.1	150.0	76.5	2.6	3335.0	131.6	7.9	0.62	-0.58	0.52	0.54	-0.54	0.37	16.0	51.5
MATAHU ASI	2016	LLUVIA	100.0	ALTO	436.0	120.9	167.7	2.4	3325.0	124.4	7.9	0.64	-0.58	0.57	0.63	-0.57	0.44	14.3	35.9
MATAHU ASI	2016	SECA	83.3	ALTO	436.0	120.9	167.7	2.4	3325.0	2.3	5.2	0.71	-0.63	0.56	0.59	-0.53	0.37	14.7	50.6
MATAHU ASI	2016	SECA	80.0	ALTO	396.0	61.8	21.2	4.0	3333.0	2.7	5.2	0.39	-0.40	0.28	0.75	-0.65	0.63	16.3	33.1
MATAHU ASI	2016	LLUVIA	76.9	ALTO	396.0	61.8	21.2	4.0	3333.0	131.6	7.9	0.72	-0.64	0.72	0.58	-0.55	0.44	16.2	25.3
MATAHU ASI	2016	SECA	100.0	ALTO	240.5	60.0	42.4	1.8	3305.0	2.3	5.2	0.80	-0.69	0.72	0.63	-0.57	0.46	16.5	34.5
MATAHU ASI	2016	SECA	75.0	ALTO	360.6	45.0	15.0	0.8	3338.0	2.7	5.2	0.55	-0.53	0.40	0.58	-0.54	0.40	16.4	29.0
MATAHU ASI	2016	SECA	100.0	ALTO	87.5	42.4	117.2	4.1	3304.0	2.3	5.2	0.76	-0.66	0.62	0.70	-0.65	0.57	14.0	29.3
MATAHU ASI	2016	SECA	50.0	MODE RADO	42.4	453.5	249.7	3.2	3306.0	2.3	5.2	0.77	-0.68	0.63	0.60	-0.56	0.42	16.7	48.5
MATAHU ASI	2016	LLUVIA	44.4	MODE RADO	240.5	60.0	42.4	1.8	3305.0	124.4	7.9	0.62	-0.57	0.59	0.50	-0.51	0.33	15.7	53.4
MATAHU ASI	2016	LLUVIA	30.0	MODE RADO	87.5	42.4	117.2	4.1	3304.0	124.4	7.9	0.63	-0.59	0.60	0.77	-0.69	0.71	16.7	53.4
BAÑOS	2017	LLUVIA	62.5	ALTO	2087.6	271.7	106.1	16.7	3926.0	286.8	5.9	0.68	-0.61	0.60	0.78	-0.67	0.71	10	50.2
BAÑOS	2017	LLUVIA	75.0	ALTO	165.0	138.3	45.0	4.0	3402.0	284.5	5.9	0.78	-0.68	0.75	0.84	-0.72	0.88	10.5	33.4
BAÑOS	2017	LLUVIA	62.5	ALTO	750.6	120.9	333.1	12.2	3597.0	286.8	5.9	0.78	-0.67	0.73	0.76	-0.64	0.67	12	28.4
BAÑOS	2017	SECA	77.8	ALTO	1548.7	87.5	21.2	11.4	3805.0	4.8	5.6	0.46	-0.50	0.32	0.50	-0.50	0.32	10	34.1
BAÑOS	2017	SECA	80.0	ALTO	265.8	84.9	47.4	13.6	3437.0	4.8	5.6	0.67	-0.62	0.53	0.61	-0.56	0.44	10	33.5

**Anexo 19: Resultados del modelo estadístico 1 utilizando redes neuronales del software SPSS® Statistics versión 22.**

		Clasificación			
		Pronosticado			
Ejemplo	Observado	3	1	2	Porcentaje correcto
Entrenamiento	3	28	1	0	96,6%
	1	0	6	0	100,0%
	2	3	2	1	16,7%
	Porcentaje global	75,6%	22,0%	2,4%	85,4%
Pruebas	3	9	0	1	90,0%
	1	0	4	0	100,0%
	2	4	1	1	16,7%
	Porcentaje global	65,0%	25,0%	10,0%	70,0%

Variable dependiente: RIESGO

**Anexo 20: Resultados del índice de Kappa y otras medidas asimétricas con respecto al modelo estadístico 1; utilizando el software SPSS® Statistics versión 22.**

		Medidas simétricas			
		Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.
Ordinal por ordinal	Tau-b de Kendall	,546	,115	4,250	,000
	Tau-c de Kendall	,387	,091	4,250	,000
Medida de acuerdo	Kappa	,600	,092	6,583	,000
N de casos válidos		61			

a. No se supone la hipótesis nula.

b. Utilización del error estándar asintótico que asume la hipótesis nula.

**Anexo 21: Resultados del modelo estadístico 2 utilizando redes neuronales del software SPSS® Statistics versión 22.**

		Clasificación			
Ejemplo	Observado	Pronosticado			Porcentaje correcto
		3	1	2	
Entrenamiento	3	30	1	0	96,8%
	1	0	7	1	87,5%
	2	2	1	5	62,5%
	Porcentaje global	68,1%	19,1%	12,8%	89,4%
Pruebas	3	8	0	0	100,0%
	1	0	2	0	100,0%
	2	1	1	2	50,0%
	Porcentaje global	64,3%	21,4%	14,3%	85,7%

Variable dependiente: RIESGO

**Anexo 22: Resultados del índice de Kappa y otras medidas asimétricas con respecto al modelo estadístico 2; utilizando el software SPSS® Statistics versión 22.**

		Medidas simétricas			
		Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.
Ordinal por ordinal	Tau-b de Kendall	,801	,079	6,827	,000
	Tau-c de Kendall	,611	,090	6,827	,000
MEdida de acuerdo	Kappa	,776	,076	8,237	,000
N de casos válidos		61			

a. No se supone la hipótesis nula.

b. Utilización del error estándar asintótico que asume la hipótesis nula.