



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS AMBIENTALES DEL PASTOREO DE
BOVINOS EN LA CUENCA ALTA DE RÍO TAHUANDO - IMBABURA

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORAS:

CABASCANGO FLORES DIANA PRISILA
ROLDÁN CHACÓN ANDREA MICAELA

DIRECTOR:

ING DARÍO PAUL ARIAS MUÑOZ MSC.

JULIO, 2021



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN

Ibarra, 20 Julio del 2021

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital del trabajo de titulación: "ANÁLISIS DE LOS EFECTOS AMBIENTALES DEL PASTOREO DE BOVINOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO TAHUANDO - IMBABURA.", de autoría de las señoritas CABASCANGO FLORES DIANA PRISILA y ROLDÁN CHACÓN ANDREA MICAELA, estudiantes de la Carrera de INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES, el tribunal tutor CERTIFICAMOS que las autoras han procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

MSc. Paúl Arias
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc. Oscar Rosales
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Miguel Aragón Esparza
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN

Misión Institucional:

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte de manera digital para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA :	100467751-2
NOMBRES Y APELLIDOS:	Diana Prisila Cabascango Flores
DIRECCIÓN:	Parroquia Miguel Egas Cabeza, comunidad de Peguche
EMAIL:	dpcabascangof@utn.edu.ec
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	2690-568 0988307195

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA :	105007876-3
NOMBRES Y APELLIDOS:	Andrea Micaela Roldán Chacón
DIRECCIÓN:	Capitán José Espinoza y Monteros entre Quis Quis y Juan Atabalipa
EMAIL:	amroldanc@utn.edu.ec
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	0969226594

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"ANÁLISIS DE LOS EFECTOS AMBIENTALES DEL PASTOREO DE BOVINOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO TAHUANDO - IMBABURA."
AUTORAS:	Diana Prisila Cabascango Flores Andrea Micaela Roldán Chacón
FECHA:	21 de Julio de 2021
SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PRESGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingenieras en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Msc. Paúl Arias

2. CONSTANCIA

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asume responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 21 de Julio de 2021

LOS AUTORES

Diana Prisila Cabascango Flores

CI: 100467751-2

Andrea Micaela Roldán Chacón

CI: 105007876-3

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos de corazón a Dios por darnos la fuerza y sabiduría necesaria a lo largo de este camino de aprendizaje y experiencias compartidas, además de brindarnos la oportunidad de compartir esta investigación y alcanzar juntas esta importante meta de vida.

A nuestros padres a quienes expresamos nuestro infinito agradecimiento y amor, ya que con su esfuerzo, dedicación, amor y apoyo incondicional nos dieron las fuerzas para avanzar en nuestra formación profesional y finalmente cumplir esta meta. Gracias por estar orgullosos y creer en nosotros desde el primer momento hasta el día de hoy.

De forma especial reconocemos el apoyo del Magister Miguel Aragón, Magister Oscar Rosales y de nuestro director Magister Paúl Arias quienes con sus conocimientos y herramientas contribuyeron en el avance y culminación de esta investigación y a quienes expresamos nuestra infinita gratitud.

Gracias a la Universidad Técnica del Norte y a todos los docentes con quienes compartimos y recibimos todos los conocimientos que nos formaron como personas y como profesionales.

*¡Muchas gracias!
Micaela y Diana*

DEDICATORIA

En memoria de mis abuelitos José Alejandro y José Miguel.

Este trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios, por haberme brindado su infinito amor, sabiduría, fuerzas y entendimiento en esta etapa de aprendizaje, por permitirme compartir esta alegría tan anhelada junto a mi familia, amigos y personas especiales los cuales tuve la fortuna de conocer a lo largo de mi formación académica.

Este triunfo también va dedicado con mucho cariño y amor a mi madre María Rosa, el pilar de mi vida, ejemplo de esfuerzo, trabajo y mi gran amor, a mi padre Luis Alfonso por sus palabras de aliento y apoyo incondicional de inicio a fin. A ellos, que mediante su esfuerzo y enseñanza de buenos valores y principios me han ayudado a ser un mejor ser humano además de enseñarme a luchar por alcanzar mis sueños, gracias por apoyarme y amarme de una forma extraordinaria. A ustedes por ayudarme a forjar mi camino, Los amo mucho!

A mis preciados hermanos Leydi, Darwin, Mateo, Ángel, Nantú y Keila, ellos han sido una fuente importante de inspiración, compromiso, coraje y humanidad. Recordarles que siempre serán mis Churis, los amo. Que esta meta cumplida sea la muestra de que con sacrificio y constancia los sueños se hacen realidad.

A mi familia y amigos por toda la confianza depositada en mí a lo largo de los años. A Micaela R. (Chiquita), Jessy M., Viviana V. (Pri), Flor C. (Esposa), mis más sinceros agradecimientos por ser amigas, confidentes y hermanas, por ser parte de mi vida y sobre todo ser un pilar y sostén en los momentos más difíciles, además de enseñarme el valor de la amistad y del esfuerzo. De forma especial a la señora Sandry y Andy C., valiosas persona que ha sido testigo y apoyo importante durante este recorrido de aprendizaje y materialización a ellos decirles muchas gracias.

*Con mucho amor
Diana Cabascango*

DEDICATORIA

Dedico este logro principalmente a Dios por ser todo en mi vida y por darme la fuerza para salir adelante con él siempre a mi lado, por iluminar mi camino y por su amor infinito. Sin él en mi vida y mi corazón no hubiera sido posible lograrlo.

A mi padre Vinicio y mi madre Sandra porque son mi motivo para salir adelante y lograr esta meta. Les dedico este logro por haber dado todo de ustedes para verme triunfar y alcanzar mis objetivos de vida, porque son el pilar fundamental de mi vida. Gracias por su amor, cariño, apoyo, constancia y dedicación. Tengo una deuda eterna con ustedes ¡Los amo mucho!

A mi hermano Fernando y toda mi familia por creer en mí y apoyarme incondicionalmente, por ser mi inspiración y por estar siempre conmigo.

A mis ángeles Irvin, abuelito Humberto y Anibital porque sé que estarían orgullosos de verme lograr esta meta de vida. Su cariño y amor permanecerán en mí para toda la vida.

A mi gran amiga Diana por su apoyo, dedicación, responsabilidad, constancia y compromiso para culminar esta labor. La llevo siempre en mi corazón. ¡Lo logramos!

A Katty, Chesi, Jessy, Diani y Maii por haber sido mi sustento en varios momentos a lo largo de esta etapa de mi vida, por su amistad incondicional, por su cariño, por sus consejos y por su ayuda. ¡Gracias!

Con amor
Micaela Roldán

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte	1
1.2. Problema de investigación y justificación.....	5
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivos Específicos.....	7
1.4. Pregunta directriz	7
CAPÍTULO II	8
REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1. Marco teórico referencial	8
2.1.1. Cuenca hidrográfica	8
2.1.2. Actividad ganadera.....	9
2.1.3. Efectos de la actividad ganadera	10
2.1.3.1. Sobrepastoreo	10
2.1.3.2. Producción de metano	11
2.1.3.3. Consumo de agua	12
2.1.3.4. Terracillas.....	13
2.1.4. Carga animal actual.....	14
2.1.5. Estrategias de ganadería sostenible.....	15
2.1.6. Prácticas de ganadería climáticamente inteligentes	16
2.2. Marco legal.....	17
CAPÍTULO III	18
METODOLOGÍA	18
3.1. Descripción del área de estudio.....	18
3.1.1. Estructura poblacional.....	19
3.1.2. Clima, hidrología y uso del suelo.....	20

3.1.3. Relieve de la cuenca alta del río Tahuando.....	20
3.1.4. Sectores de la cuenca alta del río Tahuando	21
3.1.5. Susceptibilidad de erosión y tipo de vegetación	22
3.2. Métodos.....	23
3.2.1. Determinación de la carga animal actual de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando.....	23
3.2.1.1. Georreferenciación de la cuenca hidrográfica.....	23
3.2.1.2. Cuantificación de la superficie de pastos aplicando herramientas de teledetección.....	23
3.2.1.3. Identificación de especies forrajeras	24
3.2.1.4. Cálculo de la carga animal actual de bovinos dentro de la cuenca	25
3.2.2. Evaluación los efectos ambientales del pastoreo de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando	26
3.2.2.1. Georreferenciación de terracillas	26
3.2.2.2. Cálculo de la producción de metano	27
3.2.2.3. Cálculo del consumo de agua.....	28
3.2.3. Proponer estrategias sostenibles de pastoreo de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando	29
3.3. Materiales y equipos	30
CAPÍTULO IV	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Carga Animal Actual	31
4.1.1. Unidades bovinas adultas.....	31
4.1.2. Superficie de pastizales en la cuenca	32
4.1.3. Cálculo de la carga animal actual.....	34
4.1.4. Especies forrajeras	35
4.1.5. Superficie total de forrajes	36
4.2. Efectos ambientales del pastoreo de bovinos en la cuenca	40
4.2.1. Georreferenciación de terracilla.....	40
4.2.1.1. Terracillas zona baja	42
4.2.1.2. Terracillas zona media	42
4.2.2. Producción de metano	45

4.2.3. Consumo de agua	48
4.3. Estrategias sostenibles de pastoreo de bovinos	52
CAPÍTULO V	57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
5.1. Conclusiones	57
5.2. Recomendaciones.....	58
REFERENCIAS	60
ANEXOS	78
ANEXO 1	78
ANEXO 2.....	89
ANEXO 3.....	91
ANEXO 4.....	92
ANEXO 5.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistemas de ganadería y su impacto ambiental	10
Tabla 2. Estrategias de ganadería sostenible	15
Tabla 3. Estrategias de ganadería climáticamente inteligentes	16
Tabla 4. Ubicación geográfica del área de estudio.....	19
Tabla 5. UBAs para bovinos presentes en la cuenca.....	25
Tabla 6. Factor de emisión de metano por temperatura (Kg CH ₄ cabeza-1 año-1) para la población ganadera categoría bovinos lecheros, vacas jóvenes y toros de América Latina.....	28
Tabla 7. Materiales y equipos	30
Tabla 8. Número actual de bovinos dentro del área de estudio	31
Tabla 9. Número actual de bovinos expresado en unidades bovinas adultas.....	32
Tabla 10. Área total y porcentaje de la superficie de forrajes identificados dentro de la cuenca alta del río Tahuando	36
Tabla 11. Ubicación geo-referenciada de las terracillas dentro del área de estudio	41
Tabla 12. Emisión de metano expresado en bovinos adultos.....	45
Tabla 13. Emisiones de metano para bovinos adultos en la provincia de Imbabura	47
Tabla 14. Registro de centros de acopio e industrias lácteas de la cuenca alta del río Tahuando	48
Tabla 15. Estimación del consumo de agua diario para bovinos lecheros.....	48
Tabla 16. Estimación del consumo de agua diario para bovinos no productores de leche	50
Tabla 17. Estrategias propuestas mediante el modelo PER	53
Tabla 18. Lineamientos y Aplicabilidad de cada estrategia propuesta para la cuenca alta del río Tahuando.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sustento legal de la investigación a partir de la pirámide de Kelsen	17
Figura 2. Ubicación de la cuenca alta del río Tahuando	18
Figura 3. Pendientes de la cuenca alta del río Tahuando	21
Figura 4. Sectores de la cuenca alta del río Tahuando.....	22
Figura 5. Unidades ambientales de la cuenca alta del río Tahuando	33
Figura 6. Zonificación de las especies forrajeras de la cuenca alta del río Tahuando.....	38
Figura 7. Ubicación de terracillas en la zona baja de la cuenca alta del río Tahuando.....	43
Figura 8. Ubicación de terracillas en la zona media de la cuenca alta del río Tahuando.....	44
Figura 9. Cuadro comparativo del consumo de agua por bovino	50

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Unidades bovinas adultas.....	25
Ecuación 2. Carga animal actual.....	26
Ecuación 3. Producción de metano.....	27
Ecuación 4. Cálculo del consumo de agua.....	29

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS AMBIENTALES DEL PASTOREO DE
BOVINOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO TAHUANDO – IMBABURA

Cabascango Flores Diana Prisila

Roldán Chacón Andrea Micaela

RESUMEN

El manejo inapropiado del pastoreo de bovinos ha generado cargas animales altas y como consecuencia el sobrepastoreo, los cuales originan efectos ambientales hacia los recursos naturales y sus distintas relaciones dentro de los ecosistemas. Por este motivo, la presente investigación tiene como objetivo analizar los efectos ambientales del pastoreo de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando, con el fin de proponer estrategias sostenibles de uso. Para ello, se identificó la superficie total de pastizales mediante herramientas de teledetección, las especies forrajeras consumidas y el número actual de bovinos transformados en UBAs, para determinar e interpretar el resultado de la carga animal actual. Además, se evaluaron los efectos ambientales en el suelo por terracillas, se estimó el consumo de agua de los bovinos y las emisiones de metano hacia la atmósfera. Para proponer las estrategias se utilizó el modelo PER, el cual tuvo como base la carga animal actual y el estado de los recursos naturales producto de los efectos ambientales. Como resultados se encontró una carga animal de 1.60 UBAs/ha/año, se identificaron 18 terracillas en zonas con pendientes onduladas (12-25%), ligeramente onduladas (5-12%) y planas (0-5%), lo cual evidenció un sobrepastoreo. Así mismo, se estimó una emisión anual de 4 500.5 kg de metano y una ingesta de agua diaria para el total de bovinos productores y no productores de leche de 101 131 litros. En base a los resultados obtenidos se propusieron seis estrategias que respondieron a la protección de las propiedades del suelo, al buen aprovechamiento y distribución del agua; y finalmente, al cuidado de la calidad del aire. Estas acciones proporcionarían seguridad sobre la continuidad de los recursos y la actividad, sin generar impactos hacia el ambiente.

Palabras claves: Bovinos, sobrepastoreo, carga animal actual, efectos ambientales, estrategias.

**ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF BOVINE
GRAZING IN THE UPPER WATERSHED OF THE TAHUANDO RIVER -
IMBABURA**

ABSTRACT

Inappropriate management of bovines grazing has generated high animal charges and as a consequence overgrazing, these originate environmental effects on natural resources and their different relationships within ecosystems. For this reason, the present investigation has as purpose to analyze the environmental effects of bovines grazing in the upper watershed of the Tahuando River, in order to propose sustainable use strategies. For this, the total area of pasture was identified using remote sensing tools, the forage species consumed and the current number of bovines transformed in UBAs, to determine and interpret the result of the current animal charge. In addition, the environmental effects on the soil by bovine tracks were evaluated, the water consumption of the bovine and the methane emissions into the atmosphere were estimated. To propose the strategies, the PER model was used, which was based on the current animal charge and the condition of natural resources as a result of environmental effects. As results, an animal charge of 1.60 UBAs / ha / year was found, 18 bovines tracks were identified in areas with wavy slopes (12-25%), slightly wavy (5-12%) and flat (0-5%), which evidenced a overgrazing. Likewise, an annual emission of 4 500.5 kg of methane were estimated and a daily water intake for the total of producing and non-milk producing bovines of 101 131 liters were estimated. Based on the results obtained, six strategies were proposed that responded to the protection of soil properties, to the appropriate use and distribution of water; and finally, to the protection of air quality. These actions will provide security on the continuity of resources and activity, without generating impacts on the environment.

Keywords: Bovines, overgrazing, current animal charge, environmental effects, strategies.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte

Evaluar la carga óptima animal es indispensable para el manejo de una ganadería sostenible. La capacidad de carga animal es definida como el número de animales que pueden ser mantenidos en una unidad de superficie de manera productiva, por un determinado período de pastoreo y sin dar lugar al deterioro del pastizal (Melgar, 2017). Está determinada por la productividad de forraje del pastizal, su composición botánica y finalmente las condiciones edáficas y climáticas. Es decir, la capacidad regenerativa del pasto dependerá de la productividad del suelo, la cantidad de precipitaciones y la radiación solar (Luisoni, 2010). Si las condiciones antes expuestas son favorables, se podrá determinar la capacidad de producción de las praderas.

En este contexto, la carga óptima animal considera un manejo apropiado de la ganadería, debido a que indica el número adecuado de animales que deben ser colocados en un área específica, con el fin de mantener la productividad de los pastizales, a su vez controlar la erosión del suelo y mantener la capacidad de retención de la humedad. No obstante, si no existe un manejo apropiado de la ganadería en todas sus etapas causará efectos negativos en el ambiente derivados del sobrepastoreo (Vieira et al., 1996). Este último junto con la implementación de cultivos extensivos, son causantes del 30% de degradación del suelo en el mundo, lo cual conlleva a la desertificación dejando al suelo expuesto a agentes corrosivos (Yamil, 2015).

En América Latina es común el uso de suelo para actividad ganadera. Es por ello que aproximadamente el 65% de los pastizales en tierras secas se encuentran destruidos a causa del sobrepastoreo y los efectos ambientales que este acarrea, dando como resultado la compactación y desertificación del suelo en diversas áreas de la región (Milesi y Jarroud, 2016). Además, el sobrepastoreo genera varias repercusiones en la función de los pastizales, en el ciclo del agua y un desorden en el balance hídrico (Aguas del Ecuador, 2008), debido a que el mayor segmento de

las precipitaciones es infiltrado por el suelo especialmente en tierras altas (Flórez, 2017). El desorden del balance hídrico genera un desbalance en la relación agua-suelo- planta. Es decir, el suelo pierde sus características óptimas, con lo que su capacidad de infiltrar será menor (Mena et al., 2000). A su vez provoca un decaimiento en la planta, debido a que pierde su capacidad de campo, potencial osmótico y capacidad de retención de agua, lo cual detona en un desequilibrio en la absorción de agua mediante sus raíces (Steinfeld et al., 2006).

En este contexto, Flórez (2017) en su estudio realizado en la vereda de Fontibón en Colombia, estimó la capacidad de carga de un sistema de producción lechero. El autor encontró sobrepastoreo por lo que concluyó que no había un control en los periodos de ocupación. Esto ocasionó un desequilibrio en el desarrollo del forraje por unidad de área y por consecuente en la degradación del suelo, por lo que se registró pérdida de fertilidad y un desequilibrio en sus propiedades físicas. Por otro lado, Pizzio y Royo (2017) en su estudio de la carga animal en pasturas de una granja experimental en Argentina, observaron que existe un rango de carga animal que se pudo llamar óptimo en donde se obtuvo una producción de pastos aceptable y estabilidad biológica. Por eso se recomienda realizar ajustes de carga para cada potrero por lo menos una vez al año, luego de monitorear exhaustivamente las pasturas.

Por otro lado, Burgos (2014) mediante un análisis en el que evidencia la erosión de los suelos en Bolivia, encontró que el 41% de las tierras nacionales se encuentran deterioradas, lo cual ha eliminado gran cantidad de cobertura vegetal y ha limitado el aporte de materia orgánica en los suelos. Vara et al. (2014) detectaron que aproximadamente el 62% del territorio nacional de Chile se ve afectado por la desertificación, principalmente causada por el sobrepastoreo, del cual se deriva la escases de agua, terracillas y con ello el empobrecimiento de los suelos. También, Cruz et al. (2014) menciona que Nicaragua al ser un país en donde predominan las actividades agropecuarias, se ha visto afectado por la erosión hídrica inducida por el sobrepastoreo en un 30% de territorio nacional.

En este sentido, Gardi et al. (2014) junto con el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Sequía y la Desertificación, reconoce que los suelos de Panamá están sometidos a actividades productivas con aproximadamente 35% de las tierras afectadas por el sobrepastoreo, derivado de las prácticas insostenibles en el país. Bautista et al. (2014) estimó que en México el 64% del territorio nacional presenta degradación crítica y un 15% presenta erosión severa. Finalmente, Vargas y Yáñez (2014) estudiaron los suelos de Perú y encontró que el principal problema causante de la erosión hídrica superficial y la remoción de masas es el sobrepastoreo. Además, los autores visualizaron que los humedales altoandinos del país están amenazados por efectos antrópicos, la actividad minera, la invasión de caminos que modifican el flujo normal de los drenajes de las cuencas y el sobrepastoreo.

Artieda et al. (2014) estudiaron la degradación de los suelos en Ecuador en el cual se evidenció que el 28% del territorio nacional se encuentra susceptible por el sobrepastoreo causado por la ganadería insostenible. Además, exponen que el 17% se ve afectado en el funcionamiento de las cuencas hidrográficas, el 15% por procesos de desertificación y el 9% por la pérdida de nutrientes del suelo. En general el sobrepastoreo y sus efectos han sido causados por una ineficiente planificación de las técnicas de pastoreo de especies zootécnicas, constituyéndose como uno de los principales problemas ambientales y el más común en lo que ha pérdida y degradación del suelo se refiere (Borrelli, 2001).

En este aspecto, Según la FAO (2012) en el Ecuador la actividad pecuaria se volvió clave para la economía local, ya que aporta un ingreso económico diario de leche de 3.15 a 4.50 dólares a pequeños productores. No obstante, esta actividad tan solo aporta con el 11% del PIB a nivel de país. Sin embargo, las actividades pecuarias han provoca la erosión por la desaparición de la cobertura vegetal (Kopta, 1999). Así como también la pérdida de materia orgánica ha ocasionado el escurrimiento instantáneo del agua (Aguas del Ecuador, 2008). Por último, la pérdida de productividad y fertilidad del suelo del territorio nacional es de aproximadamente un 50% (Yamil, 2015).

Espinoza (2015) en su estudio de la capacidad de carga en la ciudad de Cuenca, al igual que Zambrano y Gamboa (2011) en el mismo estudio realizado en la ciudad

de Quito, recomiendan que los productores pecuarios deben tender a la mejora del rendimiento de sus pastizales, control de maleza y cosecha o consumo de pasto en el tiempo adecuado, lo que permitirá optimizar la cantidad de animales por unidad de superficie y así evitar un pisoteo continuo causado por el pastoreo excesivo. Terán (2015) en su estudio en donde se evaluó la carga óptima entre dos sistemas de pastoreo para bovinos productores de leche (*Bos taurus*) en Machachi, menciona que la finalidad de un sistema de pastoreo es mantener y producir forraje, lo cual da lugar a un balance favorable con su eficiencia, sin exceder la tasa de renovación del potrero. A su vez permitirá sortear el aumento de la carga de animales por hectárea y tener en consideración el tiempo de ocupación de tres días de animales dentro de terreno.

Por otro lado, en la sierra ecuatoriana el problema es común en zonas de alta montaña, debido a que gran parte de las actividades pecuarias se realizan en estas zonas, por la fertilidad de sus suelos y su capacidad de infiltración (Terán, 2015). Es por ello, que se evidencia el 25.9% del suelo degradado a causa del sobrepastoreo (Espinoza, 2015). Por lo tanto, el sobrepastoreo favorece la erosión hídrica y eólica, lo que implica que el suelo genere capacidades hidrofóbicas y disminuya su nivel de carbono (Mena et al., 2000). Es decir, alteran su función de reguladores de flujos de agua al perder su capacidad de retención en periodos húmedos y hace que el agua lluvia se desperdicie en lugar de constituir reservas de este recurso.

Espinosa (1993) mediante un análisis estadístico, explicó el grado de erosión causado por el sobrepastoreo en las cuencas hidrográficas de la sierra ecuatoriana, en donde evidenció un 39.13% crítico y un 2.17% normal, lo que ocasionó efectos graves como la pérdida de biodiversidad, degradación de los suelos, alta sedimentación en los cauces principales e inundaciones en la parte baja de las cuencas. Es así que mediante un censo realizado por el INEC en el año 2013, se evidencia que en la sierra ecuatoriana la ganadería en su mayoría lechera es una de las actividades socioeconómicas más importantes, debido a que involucra a pequeños, medianos y grandes productores. Además, indica que aproximadamente el 51.72% del número de animales para la ganadería se encuentran en los Andes, de los cuales el 13% está ubicado en la provincia de Imbabura. Por esta razón,

Caviedes et al. (2018) señalan que la superficie de cultivos de pasto a nivel nacional es de 899.84 hectáreas con un rendimiento estimado de 17 toneladas de forraje verde, el cual a lo largo del tiempo se ha visto deteriorado a causa del sobrepastoreo.

Es así que dentro de la provincia de Imbabura ubicada en la región sierra, el sobrepastoreo y sus distintos efectos se visualiza con mayor incidencia principalmente en la parroquia de Angochagua, debido a que en los últimos años, el ecosistema páramo de la parroquia sufre un gran deterioro ambiental, por varios factores como la deforestación y el sobrepastoreo que va de la mano con el ineficiente manejo de los suelos. Para el problema de la deforestación en los años 2005 al 2011, se han plantado ejemplares forestales con fines de conservación y prácticas agroforestales (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Angochagua, 2015, p. 41). A pesar de ello para el problema de erosión del suelo, emisiones de metano, entre otros causados por el sobrepastoreo, no se han ejecutado gestiones gubernamentales que beneficien a la población y su entorno. Por lo tanto la cuenca alta del río Tahuando, al ubicarse en la parroquia Angochagua y poseer aproximadamente 60% de ecosistema páramo, sufre hasta la actualidad un avance desmedido en la actividad pecuaria. Es por esto que, dentro de la cuenca se visibiliza un suelo compactado y en sus pastos una baja cantidad de regeneración (Kopta, 1999).

1.2. Problema de investigación y justificación

Al no existir suficientes estudios a nivel local y nacional, que indiquen los efectos ambientales causados por la carga animal de bovinos, la cuenca alta del río Tahuando se ha visto afectada por el sobrepastoreo, el principal promotor de los impactos ambientales derivados de la ganadería, lo que ha provocado un desequilibrio en la capacidad de regeneración del terreno por el pisoteo continuo y se ha constituido una amenaza hacia los servicios y funciones de la cuenca, tales como la retención de agua, infiltración y escurrimiento (GAD Angochagua, 2015, p. 195). Las consecuencias negativas de este problema en varios lugares de la zona son la degradación del suelo, aumento de sedimentación, aumento de esorrentía, erosión, reducción de la productividad del suelo, inundaciones, menor infiltración de aguas subterráneas, disminución de la calidad de agua, pérdida de hábitats

acuáticos y biodiversidad (Kopta, 1999). En otras palabras, se evidencia un suelo degradado y un desequilibrio en el ciclo hidrológico.

En este contexto, esta investigación tiene la finalidad de analizar los efectos ambientales del pastoreo de bovinos mediante la carga animal actual en el área de estudio para proponer estrategias sostenibles de pastoreo a nivel de cuenca hidrográfica, la cual se constituye como la unidad de planificación más útil para llevar a cabo una gestión integrada del agua y de la tierra, donde los suelos y la vegetación están estrechamente vinculados al ciclo del agua (Gaspari et al., 2013). Dentro de la cuenca alta del río Tahuando, no se han registrado investigaciones referentes a los efectos ambientales causados por el pastoreo excesivo, por tanto, la investigación aportará con información real del estado del área de estudio y propondrá estrategias que generen estabilidad ecológica.

Esta investigación busca contribuir en el Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida 2017 – 2021 mediante el progreso del Eje 1, objetivo 3, a través de la garantía de los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones. En él se enfatiza la importancia, cuidado y protección de las reservas naturales y ecosistemas frágiles, debido a que la naturaleza es reconocida como sujeto de derecho, lo que implica respetar integralmente su existencia, mantenimiento y la regeneración de sus ciclos vitales (SENPLADES, 2017, p. 64). Finalmente, aporta al Eje 2, objetivo 6, a través del desarrollo de las capacidades productivas y del entorno, para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural, en el cual menciona que, es fundamental impulsar modelos de producción alternativos que permitan fortalecer el poder organizativo de las localidades, así como el acceso a tecnologías necesarias para la optimización del recurso hídrico (SENPLADES, 2017, p. 84).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar los efectos ambientales del pastoreo de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando, con el fin de proponer estrategias sostenibles de uso.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la carga animal actual de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando.
- Evaluar los efectos ambientales del pastoreo de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando.
- Proponer estrategias sostenibles de pastoreo de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando.

1.4. Pregunta directriz

¿Cuáles son los efectos ambientales del pastoreo de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando?

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico referencial

En el siguiente capítulo se detalla la información necesaria para sustentar la interpretación y análisis de los resultados obtenidos a lo largo de la realización de esta investigación.

2.1.1. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es un sistema morfológico integral el cual constituye un conjunto de componentes que están conectados e interactúan formando una unidad, en donde las aguas principales convergen hacia el cauce o unidad natural delimitada por su topografía y fluyen al mar a través de una red de cauces principales. La estabilidad y permanencia de todos sus elementos son propiedades y formas del comportamiento del sistema. Además, está conformada por unidades ecológicas, las cuales se definen como características naturales y unidades sociopolíticas (Gaspari et al., 2013).

Las cuencas hidrográficas dependen de la presión de las actividades productivas (Gaspari et al., 2013) y es por eso que se han visto afectadas entre otras causas, por el pastoreo de especies animales domésticas existentes en varias áreas del país y de América Latina. Perrine et al. (2019) en su estudio realizado en la cuenca de Cañete en Perú, argumenta que deben existir métodos espaciales con enfoques holísticos que respalden la gestión de las cuencas y otorguen información específica acerca del manejo del pastoreo, con el fin de potenciar los servicios hidrológicos y así evitar la erosión del suelo y el aumento de la escorrentía.

- **Enfoques para el manejo de cuencas hidrográficas**

Se habla de un enfoque cuando se explica claramente la relación que existe en las distintas zonas de la cuenca con el sistema natural y el sistema social. Se reconocen los servicios ecosistémicos que la cuenca hidrográfica brinda y se considera los impactos generados por las actividades antrópicas realizadas en cuenca alta hacia la cuenca baja (Pinto et al., 2020).

El manejo integrado de cuencas hidrográficas partió con la idea de gestionar su hidrología, sin tener en cuenta los múltiples usos de los demás recursos que se encuentran en ella. Según (Mang et al., 2016) por una serie de acontecimientos ocurridos a finales del siglo XX, surgió la necesidad de definir el manejo integrado de cuencas como un sistema holístico que se enfoque en los ecosistemas y sus elementos. Es decir, se asumió un enfoque integral para la gestión de lo biológico, físico y social de un ecosistema, el cual se encuentra dentro de una cuenca hidrográfica (Puente, 2010). Es así que de un enfoque hidrológico en donde no se tenía en cuenta el sistema social, se pasó a un enfoque holístico que asume a los recursos naturales como un conjunto, el cual es utilizado para obtener bienes y servicios sin perjudicar la resiliencia de estos (FAO, 2007).

En este contexto, la presente investigación abarca el enfoque *Watershed Management*, que se encarga específicamente en la protección de las fuentes de agua (Gaspari et al., 2013). Sin embargo, al enfatizar en los impactos dados por la actividad ganadera, también se considera el enfoque *Natural Resources Management*, el cual contempla no solo la protección de las fuentes de agua, sino también la protección de todos los recursos naturales y servicios ecosistémicos que brinda la cuenca (Braz et al., 2020).

2.1.2. Actividad ganadera

La demanda de alimentos procedentes de los animales es una de las más importantes fuentes de ingreso económico especialmente en países menos desarrollados y ha venido en aumento principalmente por el crecimiento poblacional y la globalización. Según la FAO (2018) la actividad ganadera contribuye a la seguridad alimentaria a escala familiar, comunitaria, nacional y mundial, debido a que asegura dietas saludables, nutritivas, genera ingresos, oportunidades de empleo y garantiza suministros alcanzables y suficientes derivados de la ganadería.

La ganadería es uno de los principales usos de la tierra en América Latina y el Caribe (ALC), porque esta actividad representa una fuente de alimentos básicos que contribuyen a la seguridad alimentaria y es un aporte fundamental para la

economía del país. No obstante, los sistemas comúnmente utilizados para su aprovechamiento generan impactos ambientales en distintas proporciones (Tabla 1). Herrera (2020) resalta que la falta de estudios específicos que expliquen los impactos ambientales en los dos tipos de sistemas es un limitante para el manejo adecuado de los recursos naturales dentro de la ganadería.

Tabla 1. Sistemas de ganadería y su impacto ambiental

Intensiva	Extensiva
Sistema de crianza de especies zootécnicas caracterizadas por su escasa productividad agraria, llevada a cabo en pequeñas extensiones de pastizales. Este tipo de ganadería afecta al ambiente principalmente por el elevado consumo de agua y por el mal manejo de estiércol, lo cual genera emisiones de gases de efecto invernadero como metano y dióxido de nitrógeno (Teixeira, 2018).	Sistema de crianza de especies zootécnicas que se da en hábitats marginales, llevada a cabo en grandes extensiones de pastizales en donde estas especies pueden moverse libremente. Estas especies generan mayor cantidad de GEI, pérdida de hábitats naturales por la deforestación, compactación del suelo por pisoteo continuo y requiere gran cantidad de agua para su consumo (FAO, 2018).

2.1.3. Efectos de la actividad ganadera

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el sector ganadero tiene efectos negativos tanto en el medio ambiente como en la seguridad humana global. Este sector productivo es responsable del 19% de emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, los cuales contribuyen al cambio climático. Además, perjudica la seguridad de la humanidad proveniente del uso excesivo de antibióticos en los animales y la aparición de zoonosis, genera contaminación hacia los afluentes naturales, deteriora la capa protectora del suelo, entre otros. Todos estos acontecimientos dejan como consecuencia problemas de pérdida de recursos naturales (FAO, 2012).

2.1.3.1. Sobrepastoreo

El sobrepastoreo es un impacto crucial de la ganadería, ya que de él se generan otros impactos que afectan al suelo, agua y cobertura vegetal. El exceso de carga animal es la principal causa de la existencia de sobrepastoreo y por ende, del deterioro en

los pastizales naturales (Mejía, 2017). Como afirma Sentís (2012) en Latinoamérica los procesos de erosión afectan a alrededor de dos millones de hectáreas de pastizales, de las cuales 100 millones se ven deforestadas y aproximadamente 80 millones se ven sobre pastoreadas. En la cuenca de Burgos, México, el pastoreo excesivo es la principal causa de degradación de suelo, erosión hídrica, compactación y pérdida de cobertura vegetal (Miño, 2009).

Un estudio realizado por Turcotte et al. (2019) en Qingueo, Ecuador, menciona que la falta de ingresos económicos en los productores pecuarios de la zona, ha provocado que agreguen más animales domésticos a su rebaño y como consecuencia que exista un pastoreo excesivo que no permite la regeneración de los pastizales. Además, argumenta que la falta de precipitaciones en la zona ha provocado que los pastizales sobre pastoreados no logren regenerarse y no puedan infiltrar el agua, lo cual induce a la escorrentía.

Es importante hacer énfasis en los efectos negativos del sobrepastoreo hacia el suelo, debido a que la alteración de este recurso provoca un desbalance en la relación que existe entre este recurso, el agua y la vegetación. Para Mora et al. (2017) el pastoreo excesivo genera problemas de degradación de suelo, erosión, desertificación, compactación y alteración de su pH; lo cual limita su capacidad de captar el agua e induce a la pérdida de cobertura vegetal, debido a la disminución de humedad en la planta.

2.1.3.2. Producción de metano

El crecimiento continuo de población humana mundial influye en el aumento de la demanda de alimentos. En el sector pecuario el estiércol generado en los sistemas ganaderos puede provocar impactos ambientales negativos, debido a las emisiones de gases contaminantes directamente hacia la atmósfera. Se sabe que el metano (CH₄) se produce por la descomposición de la materia orgánica (EPA, 2008), es un hidrocarburo, es el componente principal del gas natural y el principal gas de efecto invernadero (GEI). Por consiguiente, el metano emitido a la atmósfera antes de la quema es perjudicial para el ambiente, ya que, su poder de retención de calor es 28

veces mayor que el dióxido de carbono (CO₂). Finalmente, el metano contribuye al cambio climático en un 15 % del total de emisiones al año (Steinfeld et al., 2006).

Sandoval et al. (2020) alega que los rumiantes de todo el mundo son la fuente primordial de GEI, puesto que, contribuyen con alrededor de 115 millones de toneladas de metano al año, el cual es generado principalmente por la fermentación del alimento dentro del rumen. Por otra parte, Rodríguez et al. (2019) en su estudio de medición de metano y dióxido de carbono, en donde uso técnicas de covarianza de vórtice en bovinos productores de leche, menciona que el metano (CH₄) es generado por la degradación de los carbohidratos presentes en los alimentos y descomposición anaeróbica de las excretas.

Además, el los autores mencionan que las emisiones de CH₄ por peso vivo producido y por animal, aumenta en sistemas de producción extensivos. Se considera al metano como un gas de efecto invernadero relativamente potente que contribuye al calentamiento global del planeta. En este contexto, Nieto et al. (2014) determinan que el 37% de las emisiones de gas metano proviene de la fermentación entérica y el 70% proviene del sector agroganadero.

2.1.3.3. Consumo de agua

El agua es una sustancia esencial para la vida en el planeta, su escasez afecta de forma negativa a los seres vivos. Dentro de los sistemas ganaderos la cantidad de agua disponible es esencial, como menciona González (2018) las especies bovinas tienen un peso corporal conformado por el 55 y 88% de agua, y un consumo promedio de 40 y 120 litros por bovino. La insuficiencia del líquido vital afecta directamente a la salud del animal y la producción ganadera. Por otro lado, Quevedo et al. (2019) en su estudio de disponibilidad y consumo de agua para la ganadería bovina en Mojocoya, menciona que la disminución del agua se puede dar por factores naturales como sequías, granizadas, entre otros. De igual manera por factores antrópicos como sobrecarga de pastoreo y la reducción de la capacidad regenerativa de los pastos, estos dos últimos factores son importantes en la ganadería insostenible.

La demanda de agua por bovino no es fija, debido a que depende de varios factores como son los kg de materia seca consumida, el peso vivo, la temperatura ambiente y la calidad del agua (Duarte, 2013). En el caso de bovinos lecheros dependerá de la cantidad de leche que produzca, la cual obedece al estado fisiológico y la alimentación del animal. Cada bovino productor de leche necesita un promedio de 3.5 a 4 litros de agua por cada litro de leche que produzca (Richard, 2019; Ecopar, 2013). La pérdida de agua en bovinos se da principalmente en la orina y las heces, es por esto que este recurso es importante para el estado fisiológico y nutricional de las especies zootécnicas (Murphy, 1992).

Por este motivo, Vieira et al. (1996) expone que una técnica para conservar el agua dentro de una zona, es el fraccionamiento de pastos con la cantidad y calidad de agua necesaria dentro de estas divisiones. Esta técnica busca mantener vigilado al hato y evitar que los animales pierdan energía al caminar por todas las áreas buscando alimento y agua (Chi Chan, 2005). Es decir, si la cantidad de agua adecuada favorece al animal en poco tiempo y espacio, las especies zootécnicas se nutrirán mejor, ahorrarán la energía y por consiguiente, no afectarán el suelo y los pastizales.

2.1.3.4. Terracillas

Los procesos de ladera también llamados terracillas o huellas de bovinos, son deslizamiento de tierras producto de la presión que ejercen las cuatro extremidades bovinas. Estas huellas corresponden a una categoría de fenómenos caracterizados por el movimiento de masa y constituye un factor de desequilibrio morfo dinámico. Para Montiel et al. (2007) quien expone las amenazas por inestabilidad en su estudio de análisis de la influencia de la intervención antrópica en la ocurrencia de procesos de ladera, exterioriza que las áreas de altas pendientes presentan problemas más graves de erosión, fundamentalmente por el uso de tierras para actividades agropecuarias y el sobrepastoreo en zonas herbáceas.

De igual manera, Jeanneret y Moreiras (2018) realizaron un inventario de remoción en masa, y mencionan que para este tipo de estudio se implementa el uso de teledetección, inspecciones de campo y la aplicación de un modelo bajo plataformas

del sistema de información geográfica, con el fin de determinar zonas con presencia de terracillas. Además, Lao y Peláez (2018) sostiene que el manejo apropiado del recurso tierra mediante la teledetección puede ser un importante indicador en cuanto a la producción de alimento, desarrollo económico y planificación territorial en desarrollo agro-productivo.

Finalmente, Hong et al. (2005) afirman que los suelos con presencia de sobrepastoreo en laderas por efecto de la ganadería tienen mayor concentración de algunos compuestos en comparación con suelos de matorrales. Es decir, verificaron que el contenido de carbono orgánico (C_{org}), nitrógeno total (N_{total}), nitrógeno disponible ($N_{disponible}$) y fósforo disponible (P_{aval}) se encontraba con valores de 1.18 y 3.90 veces más concentrado en comparación con suelos de matorrales. No obstante, la concentración de fósforo fue menor en suelos de matorrales. Además, mencionan que la acumulación de nutrientes mediante la introducción de arbustos es importante para el mantenimiento de fertilidad y reconstrucción de ecosistemas alterados.

2.1.4. Carga animal actual

La carga animal actual es definida como el número de unidades animales que pastorean sobre una determinada porción de terreno en un instante determinado (Flórez, 2017). Tapia et al. (2019) destacan que la alimentación de los bovinos dependerá del forraje producido en praderas naturales. A su vez, postulan que conocer el número de bovinos presentes en un área determinada es importante, porque permiten conocer el estado actual del área y sus posibles afectaciones.

En ese contexto, Carbonell (2009) en su estudio realizado en Argentina, en el cual efectuó el ajuste de carga animal dentro de una comunidad rural, menciona que es esencial unificar el número de bovinos para obtener similares requerimientos nutricionales y de esta manera obtener una carga con el número adecuado de animales que puedan aprovechar las zonas de pastoreo en un tiempo determinado sin que cause efectos negativos ante el recurso suelo y sus interacciones. Es así, que surge el concepto de *equivalente bovino (EB)* el cual establece mediante una escala de valores, que un bovino adulto con características concretas es el punto de partida

para una valoración equivalente para bovinos menores y con distintas necesidades de mantenimiento y producción.

Se define a EB como el promedio anual diario principalmente de las necesidades nutricionales de un bovino adulto de 400 a 450 kg de peso que equivale a 1.0 en la escala de equivalencias, el cual se encuentra en condiciones de pastoreo (Holgado y Ortega, 2017). Finalmente, a modo de ejemplo se identifica a un bovino con edad de 0 a 8 meses (ternero/ternera) frente a un bovino adulto tiene un valor de 0.5 en la escala de EB, lo que indica que una unidad bovina adulta equivale a 2 bovinos con edad de 0 a 8 meses.

2.1.5. Estrategias de ganadería sostenible

La ganadería sostenible tiene como objetivo garantizar la continuidad de la actividad sin afectar futuras generaciones y que permita incrementar una calidad de vida adecuada, induciendo la adopción de sistemas de producción ganaderos amigables con la biodiversidad, los cuales son necesarios para fomentar una ganadería sostenible (Barrero, 2017). Entre las principales estrategias se cita:

Tabla 2. Estrategias de ganadería sostenible

Estrategia	Descripción
Cálculo de la carga óptima animal	Tiene como objetivo determinar la demanda máxima de animales que puede soportar un área determinada, evitando un sobre uso del recurso suelo (Teuber et al, 2007).
Rotación de potreros	Es una estrategia basada en la disposición de una suficiente cantidad de terreno, lo cual permita la división de los potreros por determinado número y disminuya el tiempo de estadía del animal dentro de la pradera (Ecopar, 2013).
Sistema silvopastoril	Estrategia que tiene como propósito la asociación de especies zootécnicas, cultivos o pastos y las especies arbóreas conviviendo en armonía, equilibrio y de manera sostenible (FAO, 2015). Además, se atribuye la seguridad tanto del animal como del ecosistema (Ecopar, 2013).
Siembra agroecológica de pastos mejorados y adaptados a las condiciones climáticas	Ecopar (2013), manifiesta que la presencia de pastos mejorados y adaptados a cada región como la mezcla de especies gramíneas con leguminosas, permite el suministro adecuado para la productividad de leche en especies ganaderas.

2.1.6. Prácticas de ganadería climáticamente inteligentes

Este tipo de estrategias fomentan la seguridad alimentaria sostenible y bienestar animal. Tienen como objetivo resguardar los recursos naturales presentes en el área de estudio frente al cambio climático, con el fin de mejorar la provisión de bienes y servicios de la producción ganadera de forma sostenible (MAG, MAE y FAO, 2019).

Tabla 3. Estrategias de ganadería climáticamente inteligentes

Estrategia	Descripción
Mejoramiento de la eficiencia productiva	Mejorar la seguridad, salud y nutrición del bovino, mediante instalaciones de bebederos, programas de vacunación, dotación de cobertizos, etc. Es importante para aumentar la producción de leche con uso de pocos recursos (Salvador, 2017).
Restaurar el valor de los pastizales	Es importante planificar el manejo de pasturas que se adapten al número de animales en pastoreo por disponibilidad de forraje sin alterar la fertilización, función y relación suelo-agua-planta (Albán, 2018).
Manejo de excretas	Ayuda a reducir la contaminación con el uso y aprovechamiento del estiércol con fines de fertilización orgánica, debido a que contiene nitrógeno, agregado combustión de pomina 10%, tierra 40% y mediante reacción anaeróbica (Salvador, 2017).
Inseminación artificial	La mejora genética de los rebaños contribuye al progreso tanto en calidad y eficiencia de las fincas productoras de leche y carne, ya que, a mayor productividad menor uso de recursos como espacio geográfico, agua y forraje (Decuadro-Hansen, 2015).
Implementación de abrevaderos con flotadores	Es necesario la implementación de bebederos con flotadores, que permitan al animal abastecer su necesidad de agua sin exceder su consumo y aprovechamiento. Estos deben estar instalados en puntos estratégicos donde el agua se mantenga limpia y en buenas condiciones (Cruz y Mosquera, 2008).

2.2. Marco legal

En este capítulo se señalan las distintas bases legales que sustentan el objeto de estudio mediante la pirámide de Kelsen, la cual parte por la Constitución del Ecuador 2008 hasta los diferentes acuerdos y resoluciones (Figura 1).

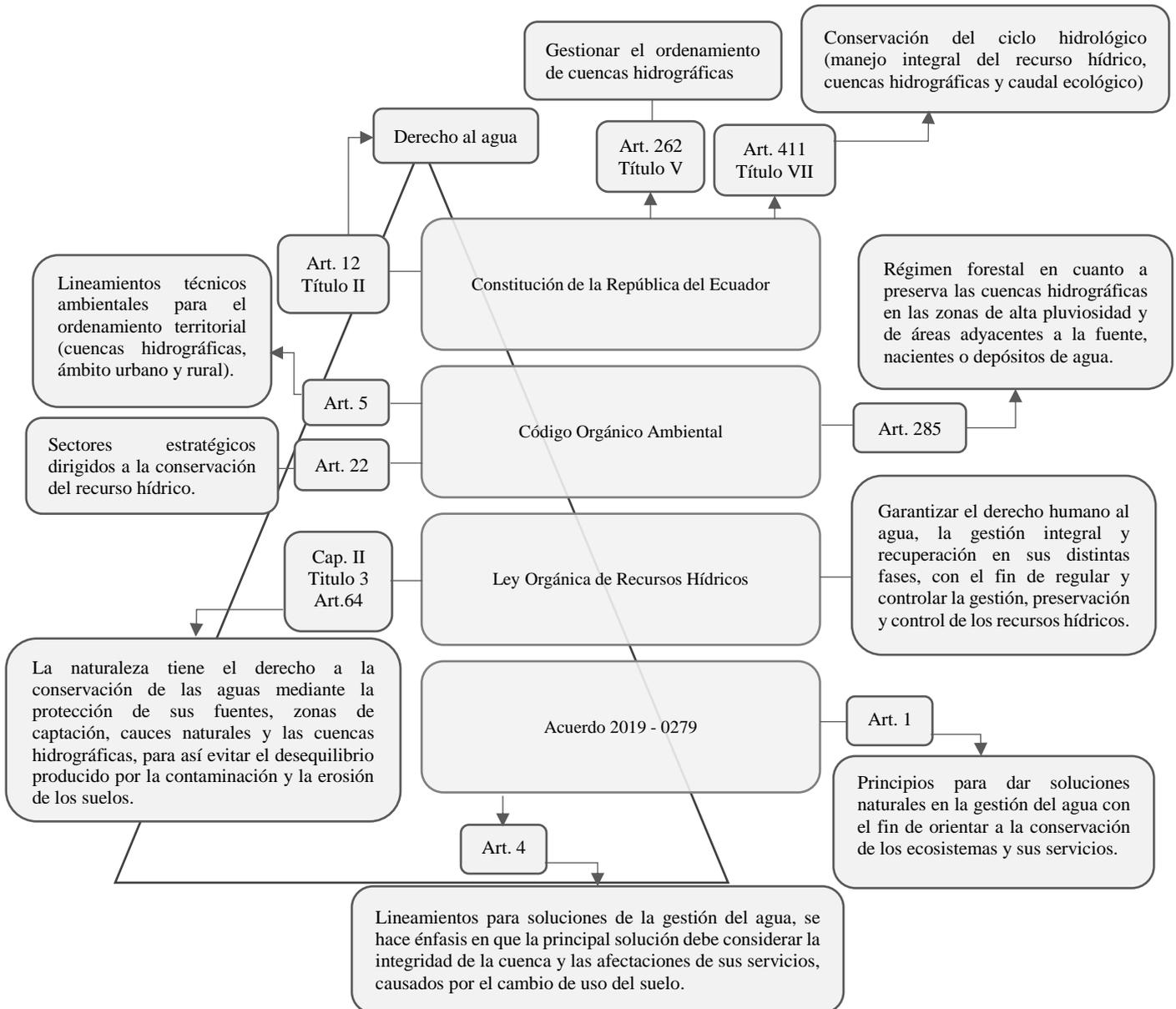


Figura 1. Sustento legal de la investigación a partir de la pirámide de Kelsen

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En el presente capítulo se detallan las distintas técnicas, métodos y procedimientos que se utilizaron para realizar la investigación.

3.1. Descripción del área de estudio

La cuenca alta del río Tahuando se encuentra ubicada entre las provincias de Imbabura y Pichincha, en los cantones Antonio Ante, Cayambe, Ibarra, Pimampiro y Otavalo; y en las parroquias San Miguel de Ibarra, La Esperanza, Olmedo, Mariano Acosta, San Pablo y finalmente Angochagua, en donde se evidencia el 69.76 % de la cuenca, es decir, 11 992.9 hectáreas (GAD Angochagua, 2015, p. 8). Además, la cuenca posee un rango altitudinal de 2 498 a 4 529 m.s.n.m y cuenta con una superficie de 17 190.1 hectáreas (Figura 2).

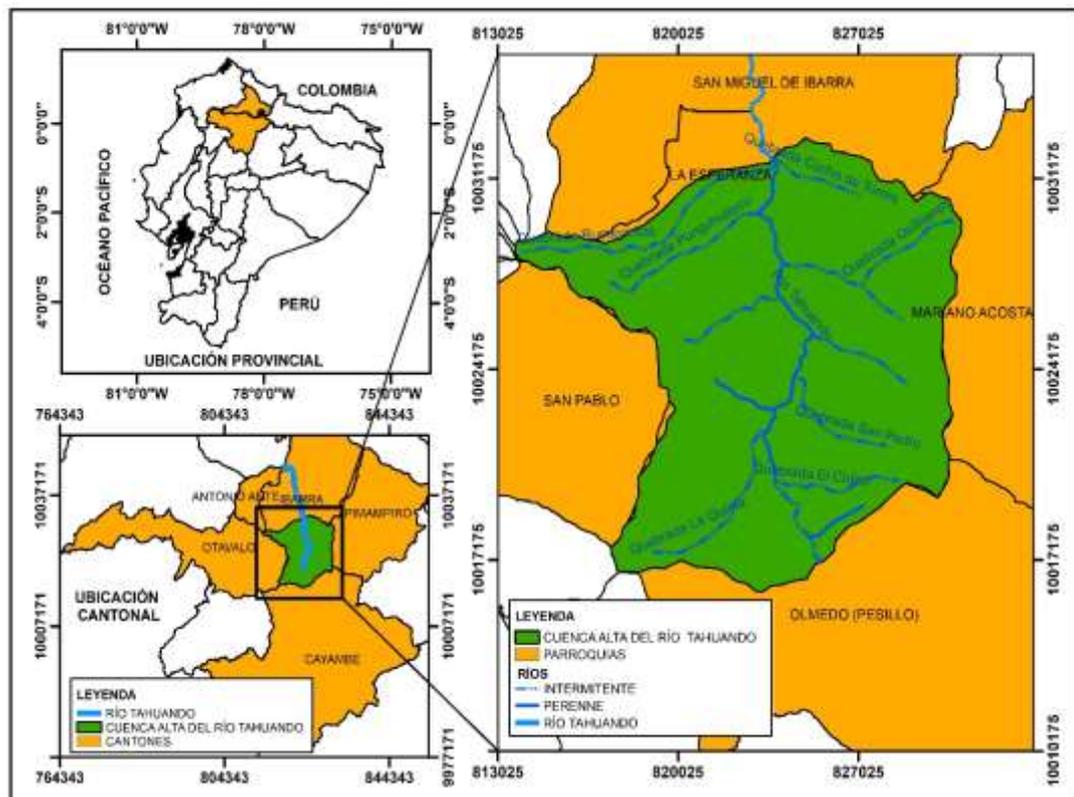


Figura 2. Ubicación de la cuenca alta del río Tahuando

La ubicación geográfica de la cuenca alta del río Tahuando está dada en coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S, presentadas a continuación (Tabla 4):

Tabla 4. Ubicación geográfica del área de estudio

Parroquia	Coordenadas “X”	Coordenadas “Y”	Altitud m.s.n.m
La Esperanza	821351	10031381	2498 - 4528
San Miguel de Ibarra	824976	10032644	2498 - 4369
Angochagua	824077	10031459	2498 - 4529
Mariano Acosta	830941	10029611	3689 - 3870
San Pablo	819734	10024931	3219 - 4477
Olmedo (Pesillo)	8231412	10016058	2944 - 3933

3.1.1. Estructura poblacional

La cuenca alta del río Tahuando está conformada por la comunidad Rumipamba perteneciente a la parroquia la Esperanza. Las comunidades las Abras, la Rinconada, Angochagua, la Cocha, Zuleta y el Chilco pertenecientes a la parroquia Angochagua. Finalmente, las comunidades Santa Rosa baja y San Pablo urcu grande, las cuales forman parte de la parroquia Olmedo (Pesillo).

La población total de la cuenca está determinada por los habitantes presentes en la parroquia Angochagua, debido a que representa 11 992.9 hectáreas del total del área de estudio. Según un censo de población y vivienda del año 2010, la población total es de 3 263 habitantes (GAD Angochagua, 2015, p.56), el 92.96% de los habitantes son de etnia indígena, el 7.51% se consideran mestizos y el 0.18%, 0.12% y 0.09% son de etnia blanca, montubia y mulata respectivamente. Al existir 3 004 habitantes de etnia indígena, la actividad agropecuaria predomina en el área de estudio.

Según Andrade (2019) la actividad agrícola y pecuaria es la que demanda mayor superficie de suelo, es por eso que dentro de la parroquia el 21.25%, es decir, 2 501 hectáreas de suelo es sobre utilizado y por lo tanto, supera la capacidad productiva del mismo. Por este motivo, dentro de la cuenca las amenazas antrópicas, son de alto impacto y determinan el estado de las fuentes hídricas, debido a que existe una concurrencia alta de erosión, deforestación y contaminación del agua (GAD Angochagua, 2015, p. 54).

3.1.2. Clima, hidrología y uso del suelo

La clasificación climática de acuerdo a Pourrut en la cuenca es Ecuatorial Mesotérmico Semihúmedo y Ecuatorial de Alta Montaña, los cuales presentan una precipitación de 700 a 1 500 mm y una temperatura de 10 a 16 °C. Se observa frecuentes neblinas y lluvias en la zona, los meses de mayor precipitación van de febrero a mayo, y de menor precipitación van de octubre a enero. En cuanto a la hidrología, la cuenca está dividida por subcuencas de las quebradas de tipo intermitente como la Rinconada, Santa Marta, San Pedro, Canguhual, Alambas y la Quinta (GAD Angochagua, 2015, p. 24).

El suelo se encuentra sobre utilizado por actividades agrícolas y pecuarias, debido a que la mayoría de la población se dedica a la agricultura y la ganadería, por lo que existe una importante presión sobre los suelos de la zona, lo cual resulta en una disminución de la capacidad productiva (GAD Angochagua, 2015, p. 16). La cobertura con mayor extensión corresponde a las tierras agropecuarias. Se encontró un 8.89% de cultivos de pasto de uso pecuario, la cual se desarrolla principalmente en los poblados de Angochagua, Zuleta y Cochás (MAGAP, 2015).

3.1.3. Relieve de la cuenca alta del río Tahuando

La cuenca alta del río Tahuando está conformada por varios tipos de pendientes de los cuales la mayor proporción de área equivale a 2 102.5 hectáreas, el cual corresponde al 30.65% ubicado en zonas con pendientes montañosas de 25-50% de inclinación, 1 885.8 ha correspondientes al 27, 49% en zonas con pendiente ondulado de 12-25% de inclinación. Además, 1 129.4 ha correspondiente al 16,46% ubicado en zonas con pendientes ligeramente ondulados de 5-12% de inclinación, en cambio el área de menor proporción de 4 712 ha que equivale al 6,86% se ubica en pendientes escarpadas mayores a >70% de inclinación (Figura 3).

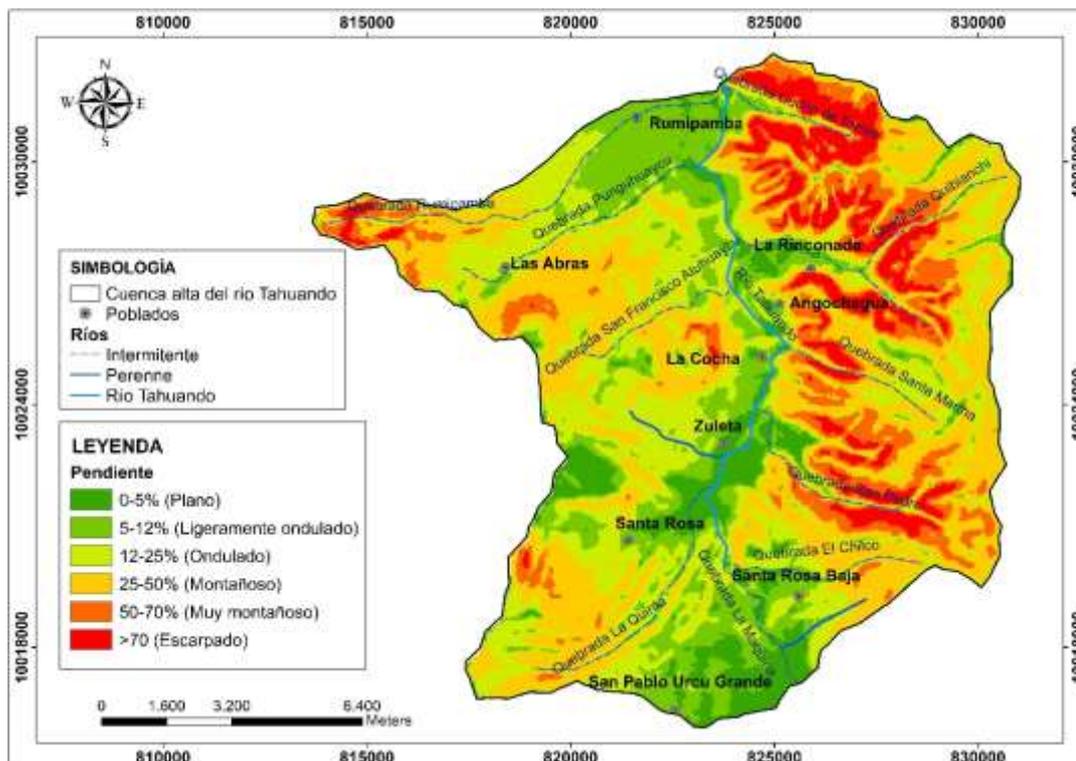


Figura 3. Pendientes de la cuenca alta del río Tahuando

3.1.4. Sectores de la cuenca alta del río Tahuando

Para lograr el recorrido absoluto del área de estudio, se dividió a la cuenca en tres zonas para las cuales se consideró la variable altitudinal (Figura 4). En la zona baja de la cuenca se encuentra el 66.7% de poblados (Rumipamba, La Rinconada, Angochagua, La Cocha, Zuleta y El Chilco) cuenta con una altitud de 2 498 a 3 000 m.s.n.m y un área de 5 158.9 ha. La zona media contiene el 33.3% de poblados (Las Abras, Santa Rosa Baja y San Pablo Urcu Grande) tiene una altitud de 3 000 a 3 400 m.s.n.m y un área de 6 916.9 ha. Finalmente, la zona alta tiene una altitud de 3 400 a 4 529 m.s.n.m y un área de 5 073.6 ha.

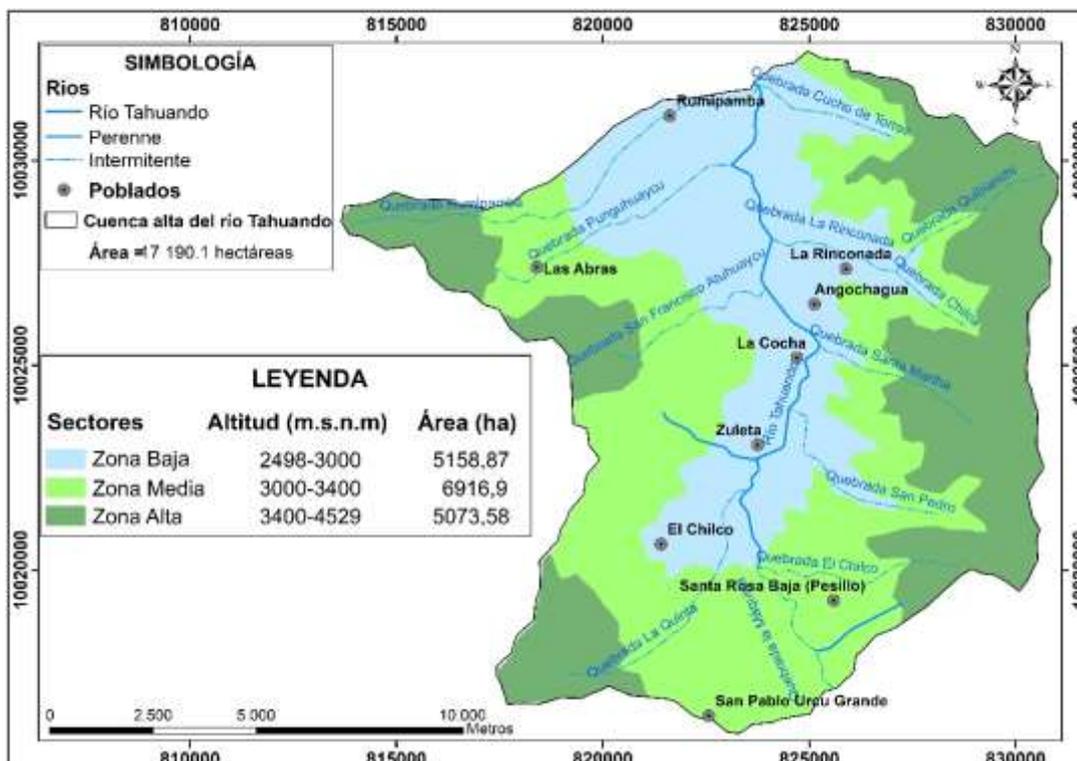


Figura 4. Sectores de la cuenca alta del río Tahuando

3.1.5. Susceptibilidad de erosión y tipo de vegetación

En la cuenca existen suelos con alto grado de erosión representando el 46.3% del territorio relacionado con las zonas de alta pendiente, esto como consecuencia de la pérdida de cobertura vegetal. Con un moderado grado de erosión cuenta el 31.6% del área ocasionado principalmente por actividades agrícolas, ganaderas no sostenibles y por efecto de las lluvias (GAD Angochagua, 2015, p. 23).

En cuanto a las especies florísticas, en la cuenca se han identificado 22 familias con 37 especies distintas. Entre las principales especies catalogadas como comunes se localizan las del estrato herbáceo. Se encuentra la niachag (*Bidens andicono*), chicoria (*Warneria nubigena*), orejuela (*Lachemilla orbiculata*), zapatitos (*Calceolaria crenata*), lengua de vaca (*Rumex obtusifolia*) y el trébol (*Trifolium repens*) (GAD Angochagua, 2015, p. 42).

3.2. Métodos

Los procesos metodológicos fueron seleccionados de acuerdo a cada uno de los objetivos para sustentar los resultados que se obtuvieron en la presente investigación.

3.2.1. Determinación de la carga animal actual de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando

Con el fin de corroborar información sobre el estado actual de la cuenca en referencia con el uso de suelo por actividades pecuarias, se realizaron salidas de campo dentro del área de estudio, en donde se recolectaron datos de coordenadas geográficas en zonas con remanentes de pasto, forrajes y presencia de bovinos. Se definieron las especies de forrajes existentes mediante georreferenciación y se elaboró una ficha técnica con la descripción taxonómica, botánica, aporte ambiental y afectación de cada especie presente dentro del área (Anexo 1). Finalmente, para el cálculo de la carga animal actual, se conoció el dato del número actual de bovinos dentro de la cuenca.

3.2.1.1. Georreferenciación de la cuenca hidrográfica

Una vez realizado el reconocimiento del área de estudio, se usó un navegador GPS y se recolectaron 93 coordenadas geográficas de las coberturas vegetales bosque, páramo, vegetación arbustiva, cultivos, pastos, área poblada y área sin vegetación. Posterior a la recopilación de información, se ingresó los datos dentro del software ArcGis 10.5 en formato csv junto a una imagen satelital Sentinel del año 2019 adquirida en la plataforma *Data and Information Access System* (DIAS).

3.2.1.2. Cuantificación de la superficie de pastos aplicando herramientas de teledetección

Se realizó la cuantificación de la superficie de pastos por medio de la imagen satelital Sentinel del año 2019 con buena resolución y poca presencia de nubes, la cual fue obtenida de la plataforma DIAS (Fernández et al., 2007). Luego, dentro del software QGis 3.0.2, se eliminaron los errores detectados en la imagen satelital

tanto por sus píxeles, su localización y su radiometría, para ser corregida de forma atmosférica, radiométrica y topográfica. En segunda instancia, mediante un navegador GPS y salidas de campo, se georreferenciaron remanentes de pastos existentes en el área de estudio (Quinde y Zambrano, 2018).

Una vez obtenido los datos de georreferenciación, la imagen satelital corregida fue insertada dentro de un nuevo mapa en el software ArcGis 10.5 y luego de varios procedimientos se crearon áreas de entrenamiento. Finalmente, se clasificó las unidades ambientales u homogéneas presentes en el área de estudio, para ser recortadas con el límite de la cuenca y reclasificadas como coberturas vegetales con su respectiva codificación numérica, su nombre y su color (Vega et al., 2010; Quinde y Zambrano, 2018).

3.2.1.3. Identificación de especies forrajeras

Esta actividad se realizó con el fin de conocer las especies forrajeras que sirven de alimento para el número de bovinos en la cuenca. Con este fin, se georreferenciaron las especies forrajeras, mediante salidas de campo. Una vez identificadas las praderas, se realizó una descripción taxonómica y botánica, mediante una guía técnica de pastos y forrajes del Ecuador propuesta por León et al. (2018), para conocer las características esenciales de cada una de las especies en el ámbito ganadero (Anexo 1). Finalmente, se obtuvo como resultado un mapa en el que se visualiza la ubicación de cada tipo de pasto y forraje dentro del área de estudio.

- **Zonificación de especies forrajeras**

Luego de la identificación del nombre científico y común de las especies localizadas, fue importante conocer la ubicación geo-referenciada de las especies forrajeras identificadas en las salidas de campo. Por esto, se realizaron una serie de procedimientos en Microsoft Excel y en el software ArcGis 10.5. Finalmente, se visibilizó mediante mapas la ubicación de cada asociación de especies forrajeras en la cuenca.

3.2.1.4. Cálculo de la carga animal actual de bovinos dentro de la cuenca

Para el cumplimiento de esta actividad, se conoció el dato del número actual de bovinos presentes en el área de estudio, el cual fue obtenido del último censo de vacunación del periodo Julio – Agosto del año 2020. Este censo se enlista dentro de las actividades sanitarias de vacunación obligatoria contra la fiebre Aftosa que hace anualmente la Agencia de Regulación y Control fito y zoosanitario de Imbabura (Agrocalidad). Para conocer la carga animal actual dentro de la cuenca fue necesaria transformar a los bovinos de distintas edades a unidades bovinas adultas (UBAs).

Es así que, se consideró el concepto de *equivalente bovino* propuesto por Coccimano et al. (1975), el cual se usó para convertir los animales de distintas edades a UBAs o unidades comparables partiendo de sus necesidades nutricionales. Es decir, necesidades tanto de producción como de mantenimiento de un bovino adulto que representa el valor 1.0 en la escala de equivalencias y tiene como característica principal un promedio de 400 a 450 kg de peso vivo (Petty et al., 2018). Con este fin, la Tabla 5 muestra las equivalencias en UBAs para terneros, terneras, vacas y toros.

Tabla 5. UBAs para bovinos presentes en la cuenca

Bovinos	UBA
Terneros/Terneras	0.5
Vacas	1.0
Vaonas	0.7
Toretos o Novillos	0.7
Toros	1.0

Como siguiente paso, se utilizó la ecuación propuesta Coccimano et al. (1975), en donde se obtuvo las unidades bovinas adultas por edad, y se consideró el número total de bovinos de distintas edades presentes en el área de estudio.

$$UBA = TB_{edades} * EB$$

(Ecuación 1)

Donde

UBA: Unidades bovinas adultas

TB_{edades}: Número total de bovinos con distintas edades

EB: Equivalente bovino

Finalmente, se calculó la carga animal anual actual que determino el número total de bovinos presentes en una superficie disponible para pastoreo, mediante la ecuación propuesta por (Teuber et al., 2007) en su publicación “Manejo de Pastoreo” la cual se enmarca dentro del proyecto de validación y difusión de mejores prácticas de pastoreo para el sur de Chile financiado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA):

$$CAA = \frac{UBA}{S}$$

Donde

(Ecuación 2)

CAA: Carga animal actual expresada en animales/hectárea/año.

UBA: Número total y actual de unidades bovinas adultas presentes en la cuenca.

S: Resultado de la cuantificación de superficie de pastos dentro de la cuenca expresada en hectárea (3.2.1.2).

3.2.2. Evaluación los efectos ambientales del pastoreo de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando

Para llevar a cabo este objetivo se realizó salidas de campo cumpliendo las diferentes actividades, las cuales principalmente se basaron en conocer áreas con concurrencia de terracillas, generación de metano en función del número actual de bovino del año 2020 y la demanda de consumo de agua en función a la cantidad de leche producida por cada bovino. De esta manera, se conoció los efectos negativos causados por la ganadería insostenible dentro del área de estudio. Las actividades realizadas se detallan a continuación.

3.2.2.1. Georreferenciación de terracillas

Mediante salidas de campo se recorrió el área de estudio por secciones (alta, media y baja), donde se georreferenciaron distintas áreas con presencia de huellas de

bovinos con su respectiva fotografía. Las huellas de animales, en este caso bovinos, sirvieron como indiciadores para conocer los sitios que son vulnerables a la erosión del suelo. Finalmente, se obtuvo mapas de la ubicación exacta de las terracillas dentro de la cuenca.

3.2.2.2. Cálculo de la producción de metano

Se estimó la producción de metano, en base a las UBAs del número actual de bovinos dentro de la cuenca en el periodo de Julio – Agosto del año 2020 y el factor de emisión de la población ganadera. La ecuación propuesta por (Dong et al., 2006), se detalla a continuación.

$$CH_4_{Manure} = \sum_{(T)} \left(\frac{EF * N}{10^6} \right)$$

(Ecuación 3)

Donde

CH_4_{Manure} : Emisiones de metano expresado en Gg CH₄ año-1

EF : Factor de emisión para la población ganadera expresada en kg CH₄ cabeza-1 año-1

N : Número de animales de especie ganadera

T : Categoría de especies zootécnicas

Al no existir datos de las emisiones de metano presentes a nivel provincial, se realizó una proyección de cuanta producción de metano por bovinos existe en la provincia, en donde se consideró el número total de UBAs presentes en la provincia y la temperatura media anual. Sobre el particular, se cita a López (2015) quien revela que la provincia cuenta con climas desde el Mesotérmico Húmedo hasta el Páramo, y temperaturas que oscilan entre 7 a 28 °C. Además, para el número de bovinos se obtuvo un dato otorgado por la encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua del año 2019 (ESPAC) disponible en el INEC.

- **Factor de emisión para la población ganadera**

El factor de emisión para la población ganadera (EF) representa el contenido de metano en el estiércol, la variable tomada en cuenta para determinar el factor de emisión de metano fue la temperatura anual promedio, definida por las características de cada región y la diferencia de las emisiones por cada temperatura. En la Tabla 6, se muestra el EF de la población ganadera en la categoría bovinos (Dong et al., 2006).

Tabla 6. Factor de emisión de metano por temperatura (Kg CH₄ cabeza-1 año-1) para la población ganadera categoría bovinos productores de leche, jóvenes y toros de América Latina

Característica Regional	Bovinos	Factor de emisión de CH ₄	
		Temperatura media anual	
		Frío y Templado ≤10 a 25 °C	Cálido 26 a ≥ 28 °C
	Bovinos productores de leche	1	2
	Bovinos no productores de leche	1	1

Fuente: Dong et al. (2006). *Emissions from livestock and Manure Management*, Chapter 10, p 38.

3.2.2.3. Cálculo del consumo de agua

Para el cálculo del consumo de agua por número de bovinos productores de leche, fue necesario conocer la producción de leche en litros dentro de la parroquia en función del número total de bovinos lecheros presentes en el área de estudio. Se consideró la información otorgada por la Agencia de Regulación y Control fito y zoonosanitario de Imbabura del año 2020. Dentro del área de estudio se evidencian cuatro centros de acopio de leche y tres industrias lácteas, en las cuales se realizó una entrevista virtual para obtener el número de proveedores y los litros de leche acogida al día y al mes. También, se consideró que un bovino en producción debe consumir de 3.85 a 5 litros de agua por cada litro de leche que produzca, por esa razón, el consumo de agua debe ser constante (Ecopar, 2013). Para obtener el resultado se utilizó la siguiente ecuación:

$$X=f(y)$$

Donde

(Ecuación 4)

X= Consumo de agua

Y= Agua por litros de leche

En cuanto al cálculo de consumo de agua para bovinos no productores de leche se tomaron en cuenta estudios en los cuales se menciona el estimado de agua consumida por bovinos de distintas edades. Fue necesario conocer el dato estimado de consumo de agua en función del número de bovinos no productores de leche por edades y se obtuvo el resultado aplicando la ecuación 4.

3.2.3. Proponer estrategias sostenibles de pastoreo de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando

Para el cumplimiento de este objetivo, fue indispensable la elaboración total de las actividades anteriores, debido a que se utilizó el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER), para definir las estrategias de manera interpretativa y subjetiva. Para ello, se reconoció la existencia de prácticas de ganadería sostenible y climáticamente sostenible. Estas estrategias están encaminadas a cumplir con las tres dimensiones del desarrollo sostenible, es decir, económicamente rentables, socialmente justas y ambientalmente responsables.

- **Presión**

Según Fajardo (2016) el nivel presión indica la influencia o fuerza que ejercen en los factores ambientales las actividades antrópicas en el ámbito socioeconómicos. Es así que, para este nivel se tomará en cuenta el resultado de la carga animal actual y su influencia en los factores ambientales de la cuenca alta del río Tahuando.

- **Estado**

El nivel estado representa las condiciones en la que los factores ambientales quedan luego de la presión de las actividades humanas, lo cual genera un impacto hacia los procesos dinámicos del ambiente y el bienestar social (Almada y Valencia, 2017). Es así que, para responder este nivel se tomó en cuenta los efectos ambientales

obtenidos como resultado de las actividades propuestas en el objetivo dos, con el fin de tener una base del deterioro que exista en la cuenca.

- **Respuesta**

Para Pérez (2012) la respuesta como última parte del modelo, busca implementar acciones o estrategias que impulsen el principio precautelatorio en la gestión de la cuenca alta del río Tahuando, con el fin de prevenir el daño o la presión que cause la actividad pecuaria en el área de estudio. En este contexto, las estrategias que se propusieron respondieron de manera sostenible a la presión y al estado actual de la cuenca.

3.3. Materiales y equipos

En este apartado se detallan y especifican en la Tabla 7, los diferentes materiales y equipos que se utilizaron para realizar la presente investigación.

Tabla 7. Materiales y equipos

Materiales para campo	Equipos de oficina	Software
GPS	GPS Map 64sx	DIAS (Data and Information Access System)
	Cámara digital	ArcGIS
	Computador	QGis
	Esferos	Microsoft Excel
	Libreta	Microsoft Word
	Transporte	
	Alimentación	

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se detallan e interpretan los resultados obtenidos a lo largo de la investigación.

4.1. Carga Animal Actual

Se presentaron resultados del número de bovinos actual, su transformación a UBAs y la superficie de praderas dentro de la cuenca, lo cual fue necesario para interpretar la carga animal actual obtenida. Finalmente, con el resultado de la carga animal, fue indispensable estar al tanto de las especies forrajeras presentes en la superficie de pastizales, debido a que son utilizadas como alimento del número de bovinos presentes en la cuenca.

4.1.1. Unidades bovinas adultas

La certificación de datos de vacunación obligatoria contra la fiebre Aftosa de Julio del año 2020 realizada por Agrocalidad, indica que actualmente dentro de la cuenca alta del río Tahuando existen 5 605 bovinos (Tabla 8) de distintas edades, sexos, niveles de producción y estado fisiológico. Estos bovinos se clasifican en terneros y terneras de menos de 8 meses, de 8 a 19 meses de edad están los toretes o novillos y vacas, por último, un bovino adulto con más de 30 meses como vacas y toros (Tola, 2012). El resultado del número actual de terneras es de 815 animales, de terneros es de 443 animales, vacas 2 531 animales, vaconas 1 348 animales, toretes o novillos 237 animales y toros con 231 animales.

Tabla 8. Número actual de bovinos dentro del área de estudio

Edades	# Bovinos
Terneras	815
Terneros	443
Vacas	2531
Vaconas	1348
Toretos	237

Toros	231
Total	5 605

Como resultado de las UBAs que se encuentran dentro de la cuenca alta del río Tahuando se obtuvo un valor de 4 500.5, el cual se divide en terneras 407.5 UBAs, terneros 221.5 UBAs, para los toretes o novillos un total de 165.9 UBAs y para vaconas un total de 943.6 UBAs (Tabla 9).

Tabla 9. Número actual de bovinos expresado en unidades bovinas adultas

Bovinos	Aplicación de la ecuación	UBA
Terneras	$UBA=815*0.5$	407.5
Terneros	$UBA=443*0.5$	221.5
Vacas	$UBA=2531*1.0$	2 531
Vaconas	$UBA=1348*0.7$	943.6
Toretos	$UBA=237*0.7$	165.9
Toros	$UBA=231*1.0$	231
Total		4 500.5

4.1.2. Superficie de pastizales en la cuenca

En el mapa de unidades ambientales se visualizó las coberturas naturales (bosque, páramo, vegetación arbustiva, área sin vegetación), coberturas antrópicas (cultivos, área poblada) y pastizales (Figura 5). Además, se determinó que las coberturas naturales predominan dentro de la cuenca, debido a que cuentan con 11 173.08 hectáreas equivalentes a 65%. Las coberturas antrópicas representan el 18.62% de la cuenca, con 3 200.20 hectáreas. Finalmente, como resultado de la cuantificación de la superficie de pastizales que se encuentra presente en el área de estudio, se tuvo un total de 2 815.75 hectáreas lo que representa el 16.38 %

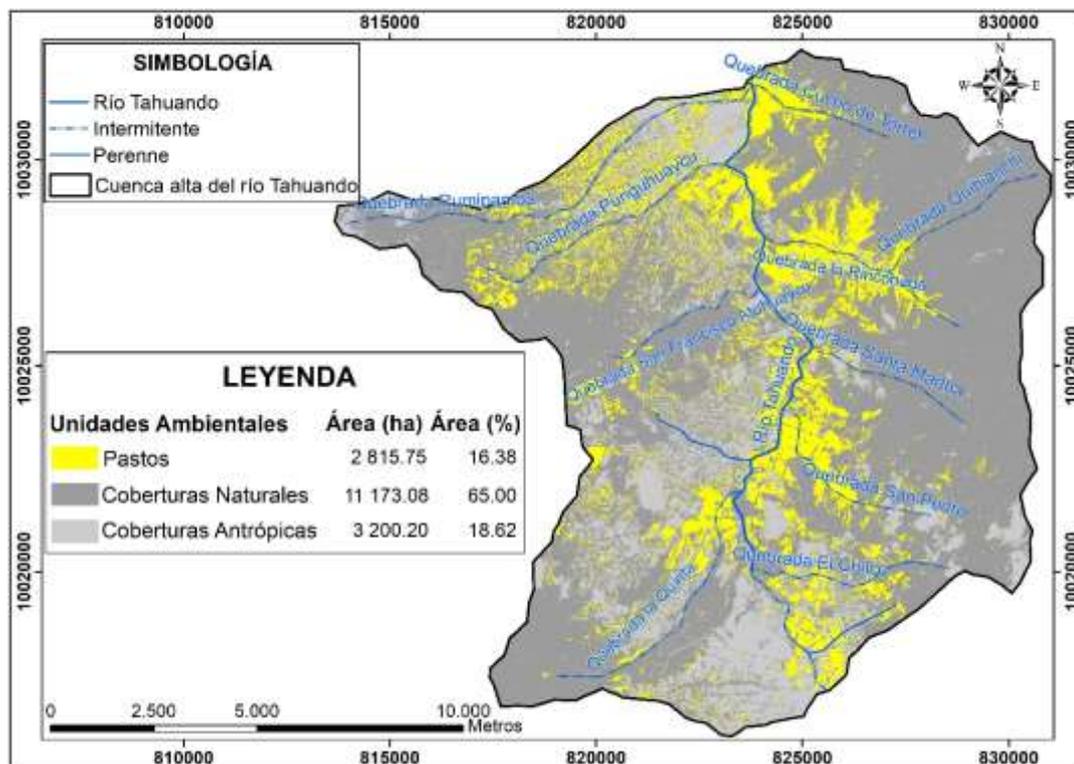


Figura 5. Unidades ambientales de la cuenca alta del río Tahuando

Loayza y Rosero (2018) quienes realizaron la evaluación de zonas de recarga hídrica en relación con las formaciones vegetales presentes en la parroquia, revelan que en la comunidad de Angochagua existe un área de 96.23 hectáreas de praderas cultivadas y naturales en pendientes planas y onduladas. La cuenca alta del río Tahuando es reconocida como un sector productor de leche, lo cual explica la existencia de más de dos mil hectáreas de la cobertura de pastizales. La superficie de estas praderas se encuentra en asociaciones con cultivos y la mayoría se ubica cerca del bosque. Esto indica que existe una pérdida de bosque nativo por la expansión agrícola y la actividad pecuaria dentro de la zona.

El ecosistema bosque junto con el páramo se ven afectados porque en épocas secas los pobladores realizan la quema en distintas áreas por la creencia de que esto atrae lluvias y como consecuencia el crecimiento rápido de los pastizales (GAD Angochagua, 2015, p. 49). En otras zonas del país se han implementado estrategias para mitigar el problema de la deforestación. En ese marco, Quinde y Zambrano (2018) en la subcuenca del río Llavirca mediante un análisis temporal encontraron que, la cobertura pasto ha disminuido en un 0.84% desde 2011 hasta 2018. Los

autores deducen que esto ocurrió, debido a que la subcuenca forma parte del Parque Nacional Sangay y por esta razón, las instituciones gubernamentales realizaron acciones de mitigación ante las actividades antrópicas que afectaban al bosque nativo del área.

Frente a esto, dentro de la parroquia Angochagua una parte de la población actuó junto con las autoridades para la reforestación de algunas áreas. Se evidenció que el 3.12% de la parroquia está representada por plantaciones de Eucalipto (*Eucalyptus melliodora*) y Pino (*Pinus radiata*) (Andrade, 2019). Como señala Chicaiza (2013) estas plantaciones se encuentran en un rango altitudinal que va de 2 780 m.s.n.m hasta 3 640 m.s.n.m, y se observan en todas las comunidades de la parroquia. A su vez, en los últimos 13 años hasta el año 2015, se han reforestado 18.9 hectáreas por año equivalente a un total de 240.5 hectáreas reforestadas con fines de conservación y agroforestería (GAD Angochagua, 2015, p. 41).

4.1.3. Cálculo de la carga animal actual

Se obtuvo como resultado de la carga animal actual en función de las 4 500.5 UBAs y las 2 815.75 hectáreas de la cobertura de pastizales, un valor de 1.60 UBAs/ha/año, lo que hace referencia a que una hectárea de pasto dentro de la cuenca soporta 1 bovino adulto en un lapso de tiempo determinado. Al respecto, Ecuador en el año 2019 tuvo una capacidad productiva de 1.48 UBAs/ha. Si se compara con el resultado obtenido se puede evidenciar que existe un excedente del 0.12 UBAs/ha (INEC, 2020). Es así que, Lalampaa et al. (2016) expresa que la ganadería insostenible tiene efecto en la degradación de pastizal provocado por la alteración de la capacidad regenerativa del suelo originado por el sobrepastoreo.

Agregado a lo anterior, un informe presentado a la FAO sobre los impactos de la ganadería propuesta por Steinfeld et al. (2006) manifiesta que si la carga animal es excedida los impactos ambientales pueden llegar a ser considerables e irremediables, como el decaimiento de la biodiversidad nativa, resultado de la deforestación. Además, la implementación de nuevas especies forrajeras puede causar cambios en la dinámica del ecosistema (Campoverde y Sarmiento, 2018). A su vez (Plachter y Hampicke, 2010) hace énfasis en que la introducción de especies

ganaderas dentro de praderas naturales influye en la percepción de la degradación del suelo, provocado por la demanda de zonas de pastoreo.

Finalmente, Ecuador a pesar de ser un país con un territorio reducido en comparación con otros países de Latinoamérica tiene un territorio productivo, por lo cual la actividad ganadera tiene gran relevancia, sobre todo en el sector rural. Así pues, García et al. (2019) concluye que la ganadería cumple un papel económico crucial para el sector, en el que aproximadamente el 60% de hogares rurales se dedica a la ganadería por la producción de derivados de lácteos y producción cárnica. Los autores concuerdan con (Coppock et al., 2017) puesto que hace referencia que esta actividad contribuye a la subsistencia de aproximadamente 1 700 millones de personas viviendo en la pobreza.

4.1.4. Especies forrajeras

Luego de obtener el resultado de la carga animal, fue relevante conocer las especies forrajes que son consumidas por los bovinos. Luisoni (2010) revela que identificar las especies forrajeras de una zona e informarse de sus características, ayuda a decidir si la carga animal puede aumentar, es adecuada o es excesiva, debido a que existen especies que no soportan alta presión en el pastoreo y otras que sí lo consiguen. Por ello, como resultado de la identificación de los forrajes existentes dentro de la cobertura pasto en el área de estudio, se encontraron 14 especies diferentes. Las especies identificadas fueron Pasto común (*Brachiaria decumbens*), Avena forrajera (*Avena sativa* L.), Trébol blanco (*Trifolium repens*), Pasto lanudo (*Holcus lanatus*), Pasto oloroso (*Anathoxanthum odoratum*), Raigrás perenne (*Lolium perenne* L.), Raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.), Trébol rojo (*Trifolium pratense*), Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), Zacate barba negra (*Heteropogon contortus*), Rabo de gallo (*Polipogon elongatus*), Cardincha (*Sonchus arvensis*), Falaris de los bañados (*Phalaris arundinacea*) y Olopecuro (*Alopecurus* sp). Esto indica que el 14.28% de pastizales en la cuenca está representado por especies cultivadas (*Avena sativa* L. y *Brachiaria decumbens*.) y 85.72% son especies naturales. Estas especies proporcionan importantes recursos de tierra en las áreas de pastoreo, por lo que contribuyen al funcionamiento ecológico de la zona (Lu, et al., 2020).

Las especies identificadas que forman parte del alimento para el número actual de bovinos están en el importante grupo de las gramíneas y las leguminosas, especies que son utilizadas en prácticas agroecológicas para recuperar los suelos que han perdido sus propiedades (Ecopar, 2013). Según Villacis (2019) las especies *Pennisetum clandestinum* (gramínea), *Brachiaria decumbens* (gramínea), *Trifolium repens* (leguminosa), *Lolium perenne* L (leguminosa), *Lolium multiflorum* Lam. (leguminosa), *Trifolium pratense* (leguminosa) y *Avena sativa* L. (gramínea), se encuentran también en la zona litoral del Ecuador, son importantes para la nutrición de las especies zootécnicas y aportan a la regeneración de suelos degradados por el pastoreo excesivo.

4.1.5. Superficie total de forrajes

La superficie total de las especies forrajeras consumidas por los bovinos presentes en el área de estudio está representada por 1 319.36 hectáreas, equivalente al 46.86% del total de praderas en la cuenca. La Tabla 10 detalla el área total en hectáreas y en porcentaje de cada asociación de forrajes en función de la superficie total de praderas en la cuenca. Entre las especies que ocupan mayor superficie, se registra a la asociación de ocho especies como la de mayor superficie con 394.94 hectáreas lo que representa el 13.99% del total de praderas de la cuenca. Por otro lado, se registraron las especies y asociaciones de especies con menor superficie dentro del área de estudio como lo es la especie cultivada *Brachiaria decumbens* con 1.55 hectáreas; *Lolium multiflorum* Lam, *Polipogon elongatus*, *Trifolium repens* y *Heteropogon contortus* con 0.14 hectáreas, entre otros.

Tabla 10. Área total y porcentaje de la superficie de forrajes identificados dentro de la cuenca alta del río Tahuando

Código	Tipo	Forrajes	Área (ha)	Área (%)
Fc1	Cultivo	Avena Forrajera	253.14	8.99
Fc2		Pasto común	1.55	0.06
Fn1		Trébol blanco, Pasto oloroso, Cardincha	45.43	1.61
Fn2		Trébol blanco, Raigrás anual	134.28	4.77
Fn3		Falaris de los bañados, Raigrás perenne	64.21	2.28
Fn4		Trébol blanco, Raigrás anual, Zacate barba negra, Falaris de los bañados	25.15	0.89

Fn5		Zacate barba negra, Kikuyo, Pasto oloroso, Cardincha, Raigrás anual, Trébol blanco, Falaris de los bañados, Trébol rojo	394.04	13.99
Fn6		Cardincha, Trébol blanco, Raigrás perenne	143.23	5.09
Fn7		Falaris de los bañados, Pasto oloroso, Raigrás anual	18.44	0.65
Fn8		Raigrás perenne	42.11	1.50
Fn9	Natural	Falaris de los bañados, Cardincha, Trébol blanco	49.73	1.77
Fn10		Trébol blanco, Olopecuro, Rabo de gallo	1.38	0.05
Fn11		Raigrás anual, Rabo de gallo, Trébol blanco, Zacate barba negra	0.14	0.005
Fn12		Cardincha, Pasto oloroso, Falaris de los bañados	6.77	0.24
Fn13		Raigrás anual, Trébol rojo, Falaris de los bañados, Pasto olco o lanudo	6.41	0.23
Fn14		Trébol blanco, Pasto olco o lanudo, Zacate barba negra, Cardincha	0.73	0.03
Fn15		Raigrás perenne, Trébol blanco	58.5	2.08
Fn16		Falaris de los bañados, Kikuyo, Raigrás anual, Cardincha	6.29	0.22
Fn17		Raigrás perenne, Trébol blanco, Falaris de los bañados	49.10	1.74
Fn18		Cardincha, Raigrás perenne	7.25	0.26
Fn19		Cardincha, Trébol blanco, Zacate barba negra	11.48	0.41

De acuerdo a la zonificación de las especies forrajeras, se conoció que existen varias asociaciones de especies, las cuales se distribuyen en varias áreas de la cuenca y son importantes para el alimento de los bovinos (Figura 6). Cada asociación de forrajes contiene especies de gramíneas con leguminosas, lo cual es importante, debido a que estas especies le aportan características positivas al recurso suelo. En poblados como la Rinconada, Angochagua, la Cocha, Zuleta y el Chilco, existen más zonas de pastizales que en las otras comunidades, debido a la presencia de haciendas.

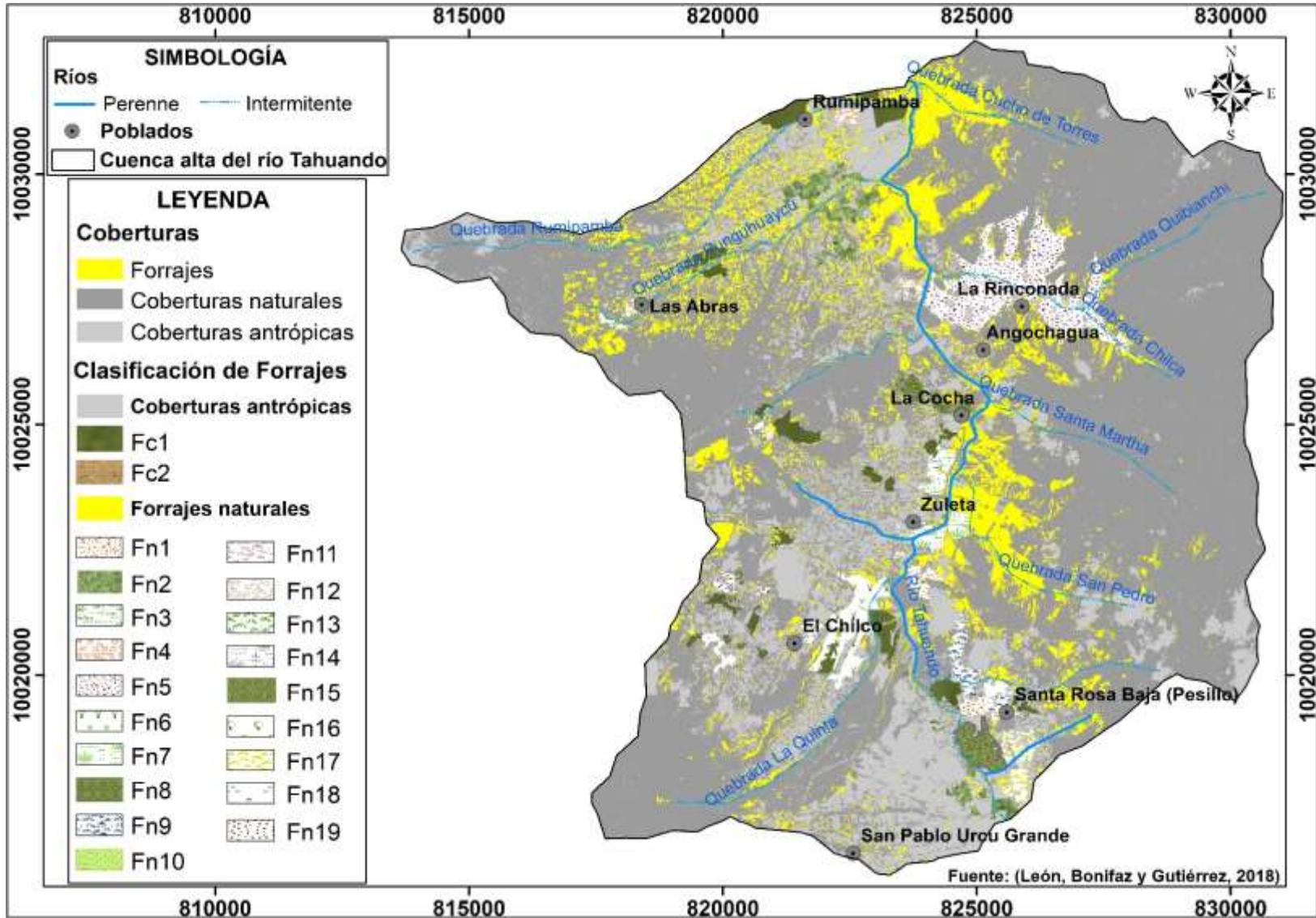


Figura 6. Zonificación de las especies forrajeras de la cuenca alta del río Tahuando

Una de las especies que se encontraron en esta investigación es la avena forrajera, la cual fue objeto de estudio para conocer cómo actúa junto a una leguminosa. Jordán et al. (1998) incluyó la leguminosa de nombre científico *Vicia sativa* (alverja), en el cultivo de forraje de *Avena sativa* L. para obtener mayor contenido de proteínas que en praderas donde se encuentran solo gramíneas. Puesto que la presencia de *vicia sativa* junto con esta gramínea es importante para los suelos, en virtud de que es fijadora de nitrógeno, ayuda a la fertilidad del suelo y reduce la necesidad de utilizar fertilizantes. Desde este punto de vista, la inclusión de esta leguminosa en praderas con gramíneas de varias áreas de la cuenca, puede ser una acción que evite más zonas con degradación del suelo.

En el periodo del año 2019 la superficie de pastizales a cargo de productores agropecuarios del Ecuador fue de 12.3 millones de hectáreas, de los cuales 16.1% y 11.7% corresponden a zonas con praderas cultivadas y cultivos permanentes respectivamente. La región Sierra cuenta con 915.843 hectáreas de pasto natural y 1 985 494 hectáreas de pasto cultivado; se registra una disminución del 16.5% en comparación al año 2018. Dentro de Imbabura las especies de pasto cultivado que ocupa mayor superficie son las especies forrajeras cultivadas mixtas con una extensión de 9 811 hectáreas (INEC, 2020).

En base a la relación que existe entre la carga animal y las especies forrajeras, se puede argumentar dentro de esta investigación que la presencia de leguminosas forrajeras permite al productor agropecuario aumentar la carga animal, debido a que estas especies soportan cargas animales altas. Además, la combinación de estas especies con gramíneas otorgará mayor energía y proteína; y evitará la propagación de malas hierbas. (Crespo, 2011). Con respecto al aumento en la carga animal, Amador y Pastora (2017) recomiendan que lo ideal es 2.85 UBAs/ha en épocas lluviosas y 1.43 UBAs/ha en épocas secas. A la vez, revelan que la carga de pastoreo es directamente proporcional a la productividad del pastizal. Es decir, si existe una baja producción de forraje se generarán bajas cargas animales. En conclusión, el ajuste de la carga animal no solo debe considerar las especies forrajeras que se

producen, si no también, los factores ambientales que las condicionan (Molina, 2011).

No se debe obviar que las cargas animales excesivas y periodos de ocupación largos en las praderas, resultan un problema en la degradación del recurso suelo. Para este efecto negativo surge una estrategia que tiene como fin un manejo racional del suelo, los forrajes y carga animal. Es así que Holmann et al. (2004) sugiere la organización de bovinos en distintos grupos y destinar para ellos superficies para pastoreo. Cada grupo debe considerar las características de las especies forrajeras y las necesidades nutricionales, estado fisiológico y manejos similares de los bovinos.

4.2. Efectos ambientales del pastoreo de bovinos en la cuenca

Refiriéndose al alto número de bovinos de distintas edades que se presentan en el área de estudio, se determinó que existe sobrepastoreo en distintas zonas y el efecto negativo que provoca hacia el suelo este problema ambiental. Además, se conoció las emisiones de metano que recibe la atmosfera y el consumo de agua en bovinos productores y no productores de leche. El análisis de estos efectos ambientales fue indispensable para proponer las estrategias más adecuadas, en lo que a suelo, agua y aire se refiere.

4.2.1. Georreferenciación de terracilla

Se logró georreferenciar por sectores un total de 18 coordenadas referentes a las huellas de bovinos (Tabla 11). El 77.77% de terracillas se encuentran en pendientes onduladas con 12-25% de inclinación, tres de ellas que representan el 16.66% pertenecen a zonas con pendientes ligeramente ondulado de 5-12 % de inclinación. Finalmente, el 5.55% restante se encuentran en zonas montañosas de 25-50% de inclinación. Se corroboró la existencia de sobrepastoreo en la zona baja y zona media de la cuenca al poder identificar la presencia de terracillas.

En estas zonas existe mayor cantidad de especies forrajeras debido a la presencia de haciendas. Estos forrajes son usados como alimento de bovinos y otro tipo de animales zootécnicos.

Tabla 11. Ubicación geo-referenciada de las terracillas dentro del área de estudio

Zona	Puntos	Coordenadas "X"	Coordenadas "Y"	Altitud m.s.n.m
Baja	P1	820471	10027871	2946
	P2	820943	10027952	2926
	P3	821493	10028406	2844
	P4	821499	10028359	2854
	P5	821885	10028456	2851
	P6	822734	10027578	2837
	P7	822476	10029060	2693
	P8	822536	10029043	2698
	P9	823328	10027233	2816
	P10	824039	10024104	2878
	P11	822543	10022582	2957
	P12	823229	10021009	2919
	P13	822439	10020619	2944
	P14	822277	10020326	2983
Media	P15	817410	10027321	3398
	P16	817469	10027381	3383
	P17	817826	10027418	3324
	P18	819154	10028180	3054

Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) **Datum** WGS 1984 Zona 17 Hemisferio Sur

Se corroboró mediante este análisis que existe erosión del suelo por la presencia de terracillas, las cuales se han formado por el pisoteo continuo de bovinos. Quiroga et al. (2006) quien verificó el efecto del sobrepastoreo en un pastizal de altura en las Cumbres de Humaya en Argentina, tuvo un resultado similar al de esta investigación. Los autores mencionan que el pisoteo continuó acompañado de una alta densidad de carga animal, se evidenció a una altitud aproximada de 2 010 m.s.n.m a altitudes superiores de 4 000 m.s.n.m. El pisoteo continuo existente en esta zona intervino en la producción del forraje, lo cual provocó un aumento en la escorrentía superficial y una baja capacidad de infiltración.

4.2.1.1. Terracillas zona baja

En la zona baja de la cuenca alta del río Tahuando la cual se encuentra a una altitud de 2 498 a 3 000 m.s.n.m., se apreció la compactación del suelo, al lograr ubicar 14 terracillas. Estas terracillas representan el 71.43% del total de coordenadas que se georreferenciaron dentro del área de estudio (Tabla 11). En la Figura 7 se visualiza que en zonas con pendiente ondulada de 12-25% de inclinación se identificaron 10 terracillas. Por otro lado, en zonas con pendientes ligeramente onduladas de 5-12% de inclinación, se encontraron tres huellas de bovinos, las cuales representan el 21,43%. Finalmente, la última terracilla identificada dentro de este sector que equivale al 7.14%, se encuentra en una pendiente montañosa, en donde el suelo se encuentra a 25-50% de inclinación.

4.2.1.2. Terracillas zona media

En comparación con la zona baja, en la zona media de la cuenca alta del río Tahuando cuenta con una altitud de 3 000 a 3 400 m.s.n.m. y en la cual se evidencio en menor cantidad el efecto del sobrepastoreo. En esta zona se localizaron cuatro terracillas, las cuales representan el 22.22% de las 18 coordenadas georreferenciadas (Tabla 11). Las cuatro terracillas que equivalen al 100% en esta zona, se encuentran en pendientes onduladas, en donde el suelo se encuentra a un porcentaje de 12-25% de inclinación (Figura 8). La presencia de huellas de bovinos en la zona media fue menor, debido a que dentro de este sector se evidencian más cultivos que forrajes usados como alimento de los bovinos de la zona. Es decir, estos cultivos están destinados a la actividad agrícola, los cuales están dentro de las 3 200.20 hectáreas de coberturas antrópicas del área de estudio.

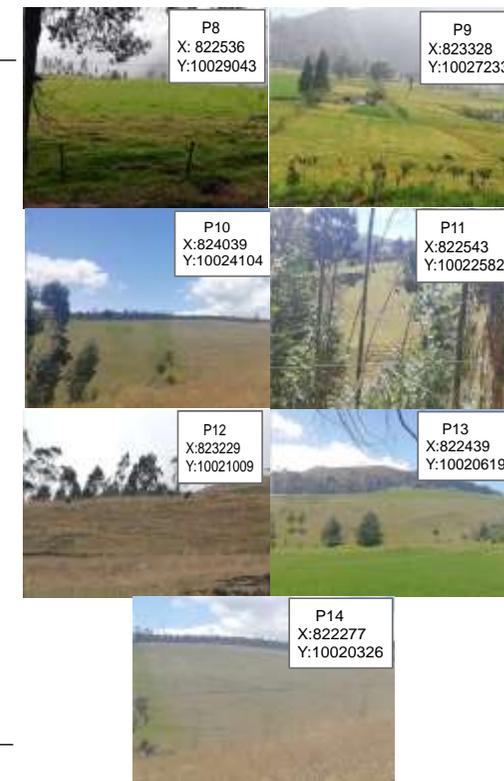
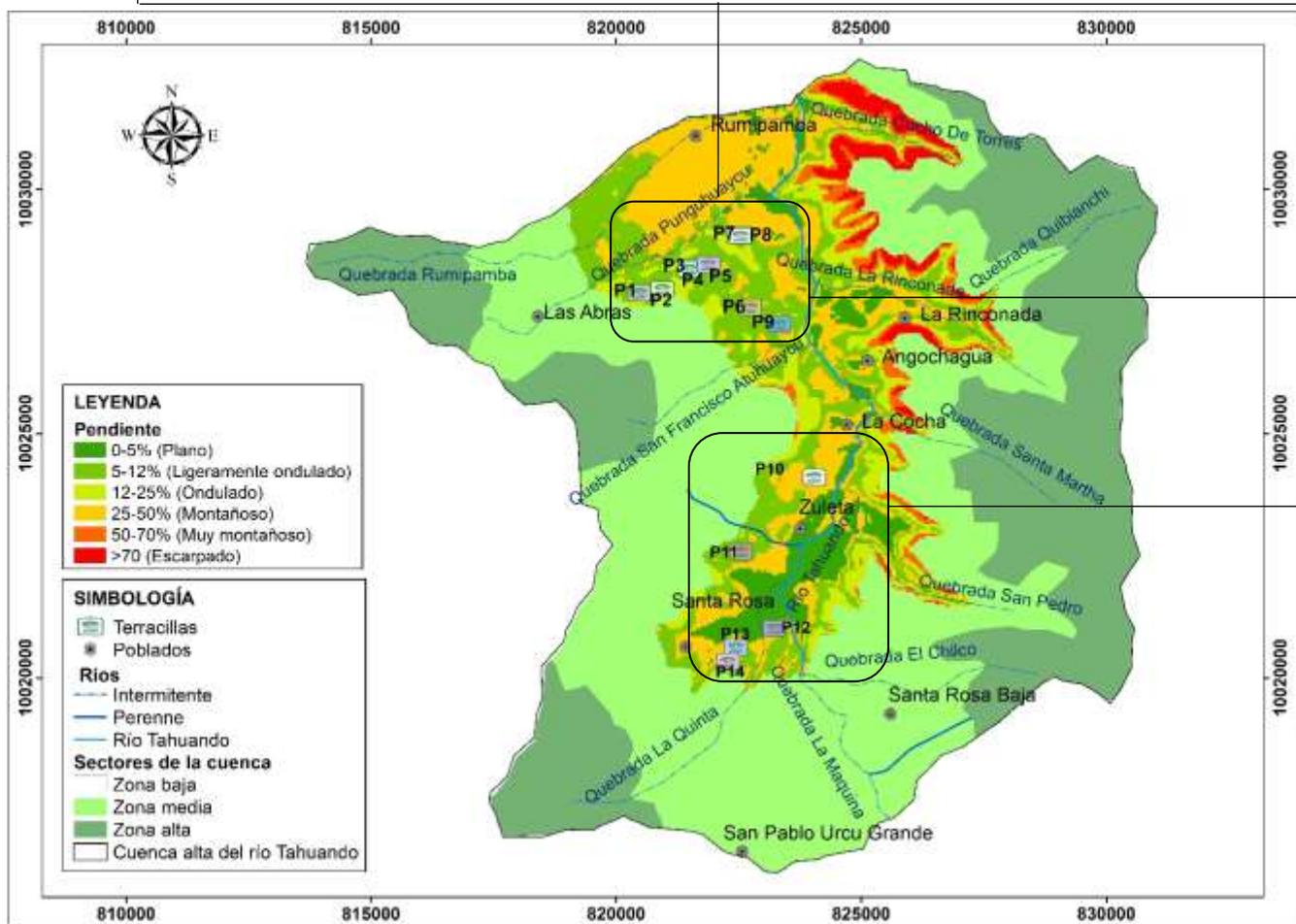


Figura 7. Ubicación de terracillas en la zona baja de la cuenca alta del río Tahuando

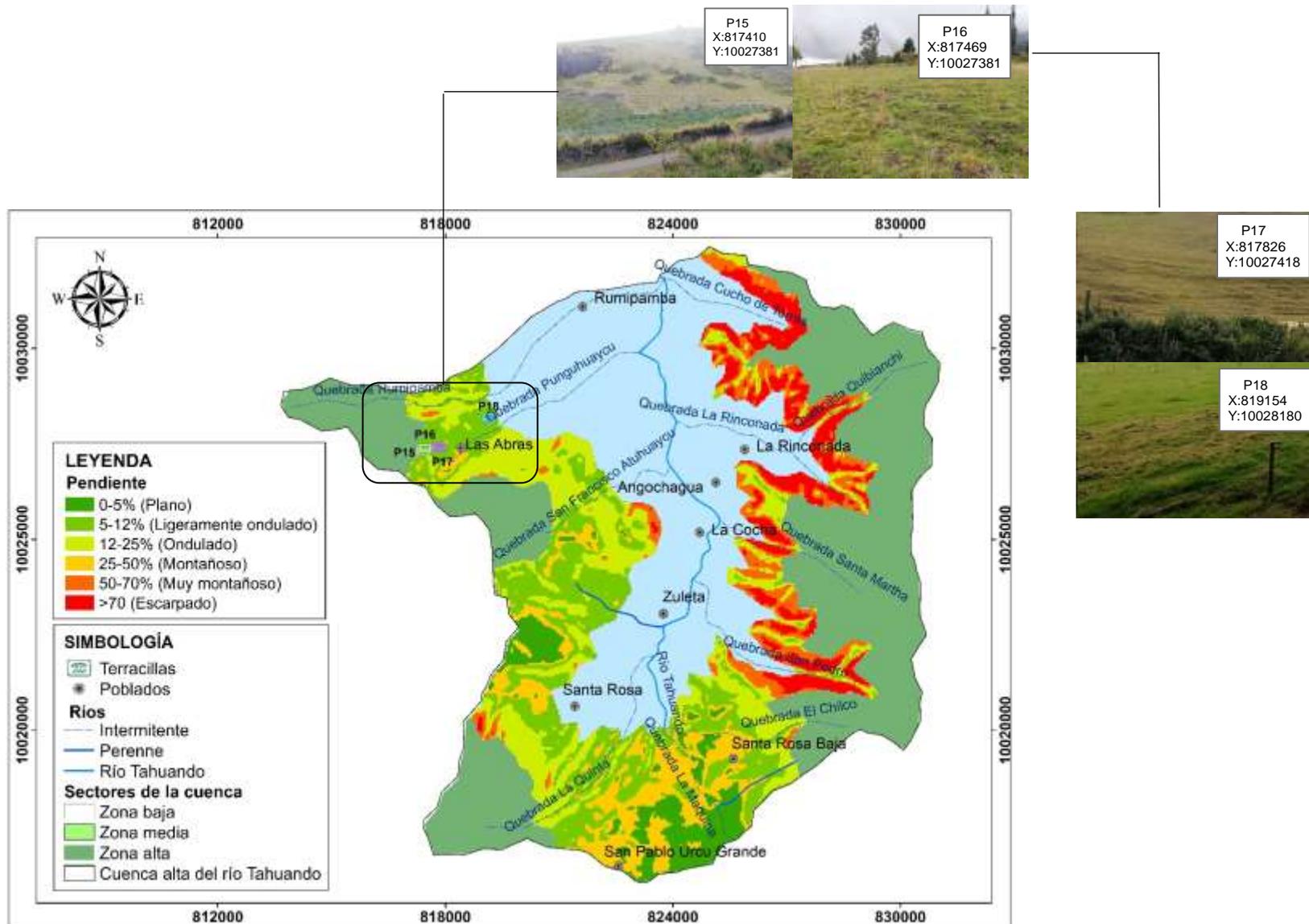


Figura 8. Ubicación de terracillas en la zona media de la cuenca alta del río Tahuando

En la cuenca se evidenció la ubicación exacta de las terracillas en la zona baja y media, lo cual indica que dentro del área de estudio existe sobrepastoreo. Merma et al. (2002) estudiaron a la subcuenca Pomacanchi como aporte al proyecto de gestión de sistemas lacustres de alta montaña en Perú. En este estudio marco un resultado similar al de esta investigación, con la presencia de bovinos y ovinos en la parte baja y alta de la cuenca. Dentro de la subcuenca Pomacachi se observaron praderas naturales que sirven de soporte para la cría de especies zootécnicas. Estas praderas presentan erosión del suelo a causa del sobrepastoreo. Además, los autores postulan la idea de desarrollar un reglamento que mitigue los conflictos ambientales causados por el sobrepastoreo y se apliquen técnicas sostenibles como el pastoreo rotativo y ordenado.

El principal impacto de alta ocurrencia en la cuenca es la erosión del suelo, producto del inadecuado manejo de las actividades antrópicas y el conflicto de uso del suelo (GAD Angochagua, 2015, p. 52). En la investigación de Jones et al. (2009) analizaron el impacto del pastoreo de bovinos en el suelo, y como resultado percibieron de forma visual el pisoteo de praderas y se tuvo como efecto la reducción del volumen del suelo y en las huellas de bovinos se observó acumulación de agua. Estos efectos se visibilizaron en zonas planas y micro relieves que fueron modificados por las pisadas.

4.2.2. Producción de metano

Las unidades de medida para los valores de producción de metano dentro del área se expresan en gigagramos (Gg) y kilogramos (kg) (Tabla 12). Como resultado se estimó que la mayor emisión de metano dentro de la cuenca es del total de bovinos lecheros con 0.002531 Gg CH₄/año que equivale a 2 531 kg de metano al año. Por otro lado, los terneros emiten menor cantidad de metano en el área de estudio con 0.0002215 Gg CH₄/año que equivale a 221.5 kg de metano al año.

Tabla 12. Emisión de metano expresado en bovinos adultos

Bovinos	Aplicación de la ecuación	Emisión de metano	
		Gg CH ₄ / año	kg CH ₄ / año

Ternereras	$\sum_{Ternereras} \left(\frac{1*407.5}{10^6} \right)$	0.0004075	407.5
Ternereros	$\sum_{Ternereros} \left(\frac{1*221.5}{10^6} \right)$	0.0002215	221.5
Vacas	$\sum_{Vacas} \left(\frac{1*2531}{10^6} \right)$	0.002531	2531
Vaconas	$\sum_{Vaconas} \left(\frac{1*943.6}{10^6} \right)$	0.0009436	943.6
Torettes	$\sum_{Torettes} \left(\frac{1*165.9}{10^6} \right)$	0.0001659	165.9
Toros	$\sum_{Toros} \left(\frac{1*231}{10^6} \right)$	0.000231	231

Como dato global de la producción de metano dentro de la cuenca alta del río Tahuando se puede decir que se estimó una emisión de metano anual de 0.0045005 Gg CH₄ que equivale 4 500.5 kg de metano al año. Es decir, el EF para la categoría de bovinos dentro de la zona es de 1 de acuerdo a la temperatura anual promedio del área de estudio, lo cual indica que cada bovino emite 0.000001 Gg de metano al año. FAO (2017) alega que los bovinos productores de leche emiten entre 1.6 gigatoneladas de CO₂-Eq por 295 kg de proteína consumida. Las emisiones por metano del sector pecuario tienen su origen en cuatro procesos; fermentación entérica, gestión del estiércol, producción de los piensos y consumo de energía. De igual manera, Bonilla y Flores (2012) sostienen que la producción de CH₄ en los rumiantes estaría influenciado por diferentes factores como alimentación, composición dietética, digestibilidad, procesamiento de alimento y frecuencia alimenticia del bovino.

Por este motivo a finales del año 2019 las concentraciones de metano en la atmosfera alcanzaron 1 875 partes por mil millones, las emisiones de metano del sector pecuario aumentan como consecuencia de la demanda de alimentos por la población, no obstante, en algunos países de Europa y Latinoamérica las emisiones son estables, debido a la implementación de prácticas sostenibles de ganadería (Canadell et al., 2020). De manera similar, Tarazkar et al. (2020) manifiesta que en el año 2012 Irán, Nigeria y Ecuador estuvieron entre los países con menor índice de producción ganadera en comparación con los 11 miembros de la Organización

de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), en el cual obtuvieron un valor mínimo de emisión de 0.5 toneladas.

Es así que, en la provincia de Imbabura mediante la proyección de emisión de metano, se obtuvo como resultado que en zonas con temperaturas de 7 a 25 °C se emite 61 637.6 kg de CH₄/año y para zonas con temperaturas de 26 a 28 °C, se obtuvo como resultado 94 885.6 kg de CH₄/año como es expresado en la Tabla 13.

Tabla 13. Emisiones de metano para bovinos adultos en la provincia de Imbabura

Temperatura media anual de 7 a 25 °C			
Bovinos	Aplicación de la ecuación	Emisión de metano	
		Gg CH ₄ / año	kg CH ₄ / año
Bovinos productores de leche	$\sum_{vl} \left(\frac{1*33\ 248}{10^6} \right)$	0.033248	33 248
Bovinos no productores de leche	$\sum_{ob} \left(\frac{1*28\ 389.6}{10^6} \right)$	0.0283896	28 389.6
Temperatura media anual de 26 a 28 °C			
Bovinos productores de leche	$\sum_{vl} \left(\frac{2*33\ 248}{10^6} \right)$	0.066496	66 496
Bovinos no productores de leche	$\sum_{ob} \left(\frac{1*28\ 389.6}{10^6} \right)$	0.0283896	28 389.6

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, la producción de metano es distinta en ambas zonas. Como expresa Vargas et al. (2012) la diferencia en las emisiones según el clima puede deberse a la dieta del animal y a las especies forrajeras consumidas. El autor estudia las emisiones de metano entérico en rumiantes en pastoreo, y agrega que los bovinos alimentados con forrajes tropicales producen más metano por unidad de energía producida mientras que, los bovinos alimentados con forrajes de áreas templadas producen menos metano por la mayor cantidad de carbohidratos estructurales presentes en su dieta.

En conclusión, la emisión de metano de la cuenca alta del río Tahuando al ser zona templada considera un aporte del 7.30% a la emisión provincial. Por esta razón, Drabo (2017) manifiesta que se debe implementar estrategias de mitigación en base a la dieta alimenticia de la población, puesto que, una dieta equilibrada a base de

productos vegetales reducirá significativamente la producción de metano, como consecuencia de la disminución de demanda de derivados pecuarios.

4.2.3. Consumo de agua

Según los datos obtenidos en octubre del año 2020 en las salidas de campo, los 4 centros de acopio Minlla Pakari, Cochas la Merced, Zulacteos y Leche cruda Zuleta obtienen la leche de aproximadamente 270 proveedores y almacenan un total de 4 110 litros diarios y 124 300 litros mensuales. En cuanto a las industrias lácteas, el Zuleñito, Prolacar y Zulac S.A. reciben la leche de aproximadamente 68 proveedores y almacenan un total de 3 569 litros diarios y 138 233 litros mensuales (Tabla 14).

Tabla 14. Registro de centros de acopio e industrias lácteas de la cuenca alta del río Tahuando

Nombre	Litros acopiados	
	# de litros diarios (L)	# de litros mensuales (L)
Leche cruda Zuleta	500	15 000
Minlla Pakari	1 100	34 000
Cochas – La Merced	510	15 300
Zulacteos	2 000	60 000
Zulac S.A.	3 149	93 233
Prolacar	300	9 000
El Zuleñito	120	36 000

Como resultado del consumo de agua para *bovinos productores de leche* los cuales producen 7 679 litros de leche, se estimó un consumo diario de 30 716 litros de agua (Tabla 15). Bajo este marco, se puede mencionar que dentro de la cuenca alta del río Tahuando un bovino lechero produce 3.03 litros de leche diarios y consume 12.14 litros de agua al día. Es decir, un bovino productor de leche requiere de 4.01 litros de agua para el proceso de transformación en un litro de leche.

Tabla 15. Estimación del consumo de agua diario para bovinos productores de leche

Bovinos	Número de animales	Leche producida diariamente (L)	Ecuación
Vacas	2 531	7 679	$X=7\ 679\ \text{lt} * 4\ \text{lt}\ (\text{H}_2\text{O})$
Agua consumida por día			30 716 L (H₂O)

En ese contexto, FAO y Earthscan (2011) señalan que el sector lechero utiliza grandes volúmenes de agua ya sea de forma directa o indirecta lo cual puede provocar escases de agua sobre todo en países con baja disponibilidad de recurso hídrico. Schwarz (2009) manifiesta en contribución a lo mencionado con anterioridad que la producción agropecuaria representa entre el 30% y 40% de los retiros de agua dulce en los países desarrollados y el 90% en los países en desarrollo.

Por otra parte, la existencia de desconocimiento y desinformación sobre el uso de recursos hídricos para la cría de animales domésticos genera una mala gestión de este recurso. Charlon et al. (2016) expresa que es importante conocer la huella hídrica dentro de una cuenca, ya que, es el método por el cual se llegará a conocer la relación que existe entre sistema hídrico y los procesos productivos que se acentúen dentro de un área específica, el cual tiene como fin conocer los efectos de contaminación, escases y consumo de agua.

En el segundo análisis para conocer el consumo de agua en *bovinos no productores de leche*, se tomó en cuenta datos de diferentes estudios. Martín (2018) explica la cantidad de agua consumida en bovinos no productores de leche en función de las características relativas al ambiente, a la dieta y al animal. Se determinó que un torete o novillo y una vacona consumen de 22 a 25 litros de agua diarios. Además, Ward y McKague (2007) concuerda con el dato proporcionado por el autor anterior y añade que tanto la etapa de crecimiento y el tamaño del bovino son factores que influyen en la demanda de agua de especies zootécnicas. Es así que los autores indican que un toro consume aproximadamente 38 litros de agua diarios.

Además, Duarte (2013) en su estudio del uso de agua de los establecimientos agropecuarios, en el cual hace énfasis en la temperatura ambiente y el peso del bovino, indica que un ternero y ternera consumen de 16 a 19 litros de agua diarios. La Tabla 16 muestra un resultado estimado del consumo de agua para bovinos no productores de leche dentro del área de estudio, en función de los datos citados con anterioridad. Es por esto, que se tuvo como resultado total 70 415 litros de agua diarios consumidos por bovinos no productores de leche.

Tabla 16. Estimación del consumo de agua diario para bovinos no productores de leche

Bovinos	Número de animales	Promedio de agua/animal/día (L)	Ecuación	Total
Terneras	815	17.5	$X = 1\ 258 * 17.5\ L$	22\ 015 L
Terneros	443			
Torettes	237	23.5	$X = 1\ 585 * 23.5\ L$	39\ 622 L
Vaonas	1\ 348			
Toros	231	38	$X = 231 * 38\ L$	8\ 778 L
Total				70\ 415 L

Finalmente, se realizó un cuadro comparativo del consumo de agua por bovino categorizado por edad y se valoró que las vaonas consumen 31 678 litros de agua diarios, las cuales representan la mayor demanda dentro de la cuenca, debido a que en el área de estudio existe alto número de animales de esta edad. En consecuencia, los bovinos lecheros representan el segundo mayor consumidor de agua dentro del área de estudio con 30 716 litros de agua diarios, con una diferencia de 962 litros de agua diarios con respecto a las vaonas (Figura 9).

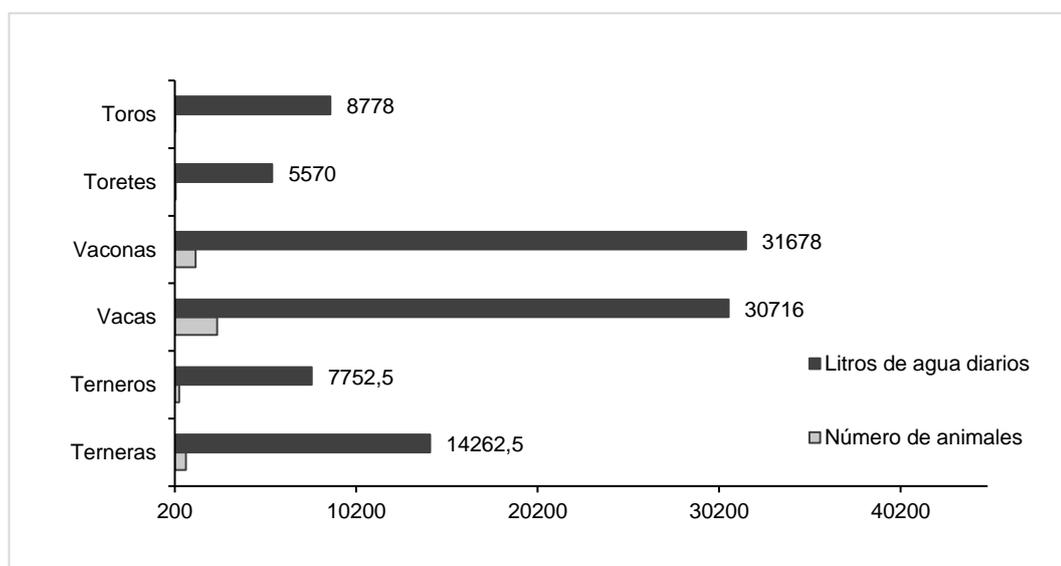


Figura 9. Cuadro comparativo del consumo de agua por bovino

La ingesta de agua en bovinos es indispensable para el desarrollo corporal, productivo y nutricional del animal, es por ello que dependerá de la raza, la edad, el sexo, el peso corporal, la materia seca consumida y los factores ambientales de la zona. En la cuenca alta del río Tahuando se estimó una ingesta de agua diaria de 101 131 litros de agua diarios, la cual es consumida por el total de bovinos de la zona. El dato que se menciona según Golher et al. (2019) es directamente proporcional con la temperatura del ambiente, debido a que en climas cálidos y tropicales el consumo de agua por bovino aumenta.

En este contexto, Duarte (2013) estudió el uso del agua en establecimientos agropecuarios, en el cual afirma que un bovino productor de leche consume de 38 a 110 litros de agua diarios, dependiendo de la temperatura ambiente y el estado fisiológico del animal. Además, indica que la frecuencia de consumo de un bovino es de 3 a 4 veces al día, pero que dependerá de la distancia en la que se encuentren los bebederos y más si estos se encuentran alejados de las zonas de pastoreo o de sombra, porque optarán por obviar uno de ellos. Es por esto, que en la mayoría de los establecimientos no se tiene un dato real de cuanto consume o debería consumir un bovino para que no afecte su estado corporal ni la cantidad de agua dentro de un área específica.

Según un listado actual de las concesiones autorizadas por el Ministerio de Ambiente y Agua de la provincia de Imbabura (MAAE), dentro de la parroquia Angochagua existe un solo abrevadero ubicado en la comunidad Angochagua, el cual cuenta con un caudal de 5 L/s equivalente a 432 000 litros de agua diarios destinados a la actividad ganadera. En relación al dato obtenido de consumo de agua dentro de la parroquia se estima que existe 330 869 litros diarios que no son contabilizados con una evidencia de desecho y mal aprovechamiento del recurso de aproximadamente el 76.60% del caudal total. Este abrevadero se encuentra alejado de los demás puntos de pastoreo de bovinos, lo cual genera una mala distribución y desequilibrio de los distintos usos (doméstico y riego) dentro de las comunidades alejadas al abrevadero principal.

A modo de respuesta a la pregunta directriz planteada para la presente investigación se detallan como efectos ambientales la existencia de erosión del suelo y

compactación como consecuencia del sobrepastoreo presente en distintos puntos de la zona baja y zona media de la cuenca. También, se estimó un deterioro en la calidad del aire y una posible afectación a la salud de la población de la zona por la emisión de metano, un gas de efecto invernadero generado por la digestión de los alimentos de bovinos y la descomposición de sus excretas. Finalmente, con el dato clave de la presencia de un solo abrevadero en la cuenca alta del río Tahuando se percibe la mala distribución del agua para toda la población del área que se dedica al pastoreo de bovinos, lo cual tiene consecuencias en el recurso hídrico de la cuenca y en el uso inadecuado del agua de riego y de uso doméstico.

4.3. Estrategias sostenibles de pastoreo de bovinos

Para responder este objetivo se consideró el análisis de los efectos ambientales y se identificaron estrategias de uso sostenible de los recursos naturales expuestos al realizar esta actividad. Estas estrategias responden a la protección del recurso suelo, el cual se ve afectado principalmente por las terracillas identificadas, el uso sostenible del recurso agua la cual es utilizada como alimento de 5 605 bovinos y la protección de la calidad del aire, el cual está recibiendo emisiones de metano del elevado número de bovinos presentes en la cuenca.

Por este motivo, el modelo PER indica las estrategias propuestas para los efectos ambientales analizados, los cuales permitieron conocer el estado del suelo, agua y aire de la cuenca alta del río Tahuando, los cuales se ven afectados por la presión a la que están sujetos. Para el suelo se debe implementar estrategias que permitan recuperar o mantener su productividad y sus características. En el caso del aire, se requiere mejorar la dieta de los bovinos y manejar adecuadamente sus excretas. Por último, para el recurso agua se plantearon estrategias que ayudarán a su buen aprovechamiento y distribución (Tabla 17).

Tabla 17. Estrategias propuestas mediante el modelo PER

Presión	Estado	Respuesta	Estrategias
5 605 bovinos dentro de la cuenca, entre terneras/os, vacas, vaconas, toretes y toros. Registran una carga animal actual de 1.60 UBAs/ha/año.	Presencia de terracillas en la zona baja de la cuenca, en pendientes onduladas (12-25%), ligeramente onduladas (5-12%) y planas (0-5%).	Recuperar la productividad del suelo	Sistemas Silvopastoriles
	Presencia de terracillas en la zona media de la cuenca, en pendientes ligeramente onduladas (5-12%)	Asociación de árboles, cultivos y especies ganaderas	
		Técnicas de pastoreo que ocupen menor tiempo de estadía de animales, número óptimo de bovinos	
		Aislamiento de bovinos en zonas de altas pendientes	Forestación en zonas de altas pendientes
	Producción de metano CH4 al año de 4 500.5 Kg, emitidos por 4 500.5 bovinos existentes dentro del área	Mejorar la calidad y digestibilidad del alimento forrajero	Sistemas Silvopastoriles
		Mejoramiento de la dieta	Mejoramiento de praderas
			Gestión adecuada de las excretas de animales.
	101 131 litros diarios de agua destinados al consumo de bovinos dentro de la cuenca	Disminuir el uso de agua y evitar su desperdicio.	Inseminación artificial
			Abrevaderos con flotadores

Es necesario abordar los lineamientos y la aplicabilidad de cada estrategia propuesta para la cuenca alta del río Tahuando, con el fin de generar un marco de referencia a las autoridades competentes y a los pobladores que se dedican a la actividad pecuaria. En este sentido, la tabla 18 indica lo que se requiere considerar para cada estrategia y las zonas del área de estudio en las que se pueden aplicar las mismas, con el fin de beneficiar al manejo adecuado del suelo, agua y aire.

Tabla 18. Lineamientos y Aplicabilidad de cada estrategia propuesta para la cuenca alta del río Tahuando

Estrategia	Lineamiento	Aplicabilidad
Sistemas Silvopastoriles	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación de sistemas de pastoreo racional como la rotación de potreros. - Separación de potreros con cercas arbóreas mediante la implementación de especies forestales. 	Es aplicable en zonas con pendientes planas y ligeramente onduladas de 0-5% y 5-12 % de inclinación (Figura 3).
Forestación en zonas de altas pendientes	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación del terreno en donde se desea reforestar. - Aplicación de especies forestales adaptadas a la zona. - Cantidad y distribución adecuada de las especies forestales de acuerdo a la inclinación del terreno. 	Dentro de la zona baja y zona media de la cuenca, se aplica esta estrategia en zonas con pendientes onduladas de 12-25% de inclinación del terreno (Figura 3).
Mejoramiento de praderas	<ul style="list-style-type: none"> - Pastos mejorados y adaptados a la zona. - Asociación de gramíneas con leguminosas en cada zona destinada al pastoreo. 	En zona baja y media de la cuenca donde existe presencia de forrajes naturales (Figura 6).

Gestión adecuada de las excretas de bovinos	- Compostaje, Lombricultura.	Bocashi,	Organización de campesinos presentes en las zonas.
Inseminación artificial	- Selección de machos productores, en base al mérito genético de sus anteriores predecesores.	Haciendas dedicadas al pastoreo de bovinos.	
	- Detección del celo en los bovinos lecheros.		
Abrevaderos con flotadores	- Solicitar al MAAE nuevas concesiones de los abrevaderos no autorizados.	Zonas alejadas del abrevadero principal autorizado por el MAAE	

La estrategia de ganadería sostenible más implementada es la de sistemas silvopastoriles, la cual fue promovida en países de Latinoamérica como Chile, Brasil, Argentina y Colombia (Mayer, 2017). Dentro de esta investigación se propuso esta estrategia como acción para mejorar la productividad de los suelos y reducir las emisiones de metano. Bajo este marco, Pedreira et al. (2013) afirma que los sistemas silvopastoriles aportan a la reducción de suelos degradados y a la reducción de los principales gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento climático global. Puesto que, los SSP favorecen en la captura de CO₂ y aminoran las emisiones de CH₄ y de N₂O.

En cuanto a la demanda de recursos, la inseminación artificial (IA) es considerado un método viable, puesto que se puede sincronizar y planificar la mejora genética de los animales en función a la época del año que tenga excedente de forrajes y recursos, con el fin de obtener una mayor producción de leche (González, 2019). Agregado a lo anterior Hansen y Block (2004) afirman que la IA puede llegar a tener un impacto positivo en la ganadería, como consecuencia de la independencia de toros y oportunidad de mejorar con rapidez animales con genéticas de primer nivel. Para la implementación del método se considera a los machos reproductores en base al mérito genético de sus anteriores predecesores, lo cual también favorece a la fertilidad del bovino productor de leche. Finalmente, el IA ayuda en la disminución de carga animal dentro de un área específica en épocas de escasos de

recursos, por esta razón, la demanda de recursos; agua, forraje y espacio geográfico disminuirá, así como las emisiones de CH₄ (Giraldo, 2007).

Haro y Gómez (2018) plantearon un escenario tipo de la sierra ecuatoriana en el cual se consideró productores pequeños de leche con una producción de 1 683 L/día. Las provincias consideradas fueron Pichincha y Chimborazo, con altitudes de 2 400 a 3 500 m.s.n.m, temperatura media anual de 13.3 °C, una precipitación media anual de 500 a 2 000 mm. En base a los datos citados, las estrategias más relevantes que el autor cita en la reducción de emisiones es la rotación de praderas con la implementación de pasturas mejoradas con una mezcla forrajera de especies, tales como, raigrás perenne (*Lolium perenne*) en un 38%, pasto azul (*Dactylis glomerata*) con 29%, 19% de raígras anual (*Lolium multiflorum*), 6% de trébol blanco (*Trifolium repens*), trébol rojo (*Trifolium pratense*) en un 4%, llantén (*Plantago major*) con 2% y achicoria (*Achicoria sp.*) con 2%. Su aplicación mostró una reducción del 65% de las emisiones de metano/kg leche producida. Por consiguiente, el cambio de dieta de las especies ganaderas y el consumo de agua disminuirá un 30% aproximadamente (Zuluaga, 2011).

Finalmente, la ingesta de agua en bovino productores de leche es importante debido a que la leche está constituida por 85% de agua (Zavala, 2005). Es así que, Mohammed (2016) en su estudio de evaluación de la eficiencia de agua potable para ganadería, resalta que el suministro de agua óptimo es esencial para la salud del bovino. De modo que, la demanda de agua en zonas ganaderas se verá perjudicada por el mal manejo y aprovechamiento del recurso, lo cual genera a su vez contaminación de agua subterránea por nitratos, cianobacterias u otro tipo de patógenos (Kumar, 2016). Bajo este marco, la implementación de abrevaderos con flotadores es considerada una alternativa viable y sustentable, ya que su implementación además de aporta ganancias en peso vivo del bovino en un 16%, el flujo de líquido consumido es controlado y se evita el excedente del 10% (Torres et al., 2010).

Mediante un ensayo realizado para esta investigación en donde se consideró el tiempo requerido para obtener un litro de agua, se verifico que un abrevadero de flujo no controlado puede llegar a desaprovechar un caudal de 54 m³ al mes. En

relación con lo mencionado por Torres et al. (2010) se puede argumentar que a través de la aplicación de reguladores de flujo o de caudal de agua se evita el desperdicio de 10% equivalente a 5.4 m³ de agua al mes destinada a la actividad pecuaria.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En la cuenca alta del río Tahuando existen 5 605 bovinos de distintas edades con una carga animal actual de 1.60 UBAs por hectárea al año, lo cual evidencia que existe un excedente del 0.12 UBAs por hectárea en comparación con el territorio nacional. Por este motivo, es importante determinar si la carga animal puede mantenerse, aumentar o descender, y considerar factores como el clima, el adecuado manejo de las zonas de pastoreo y las especies forrajeras presentes en la zona.

Existen 18 terracillas distribuidas en la zona baja y media de la cuenca, las cuales dejan como evidencia el sobrepastoreo en estas zonas y como consecuencia la erosión del suelo en pendientes planas, ligeramente onduladas y onduladas. Esto constituye un problema para el recurso suelo y su interacción con el agua y la vegetación, debido a que existe un desbalance en la dinámica de los ecosistemas y como consecuencia en el ciclo hidrológico de la cuenca alta del río Tahuando.

Se emite a la atmosfera un estimado de 4 500.5 kg de metano al año, lo cual significa que aporta con el 7.30% en la emisión de la provincia de Imbabura. Esto se debe a varios factores como la alimentación, composición dietética, digestibilidad, procesamiento de alimento, frecuencia alimenticia del bovino y sumado a esto, la inadecuada o inexistente gestión de sus excretas. Sin embargo, en comparación con las zonas cálidas del Ecuador existen menor emisiones de CH₄, debido a que las características de las especies forrajeras en zonas templadas son distintas a las de zonas cálidas.

Existe una demanda de agua para el sector ganadero de 101 131 litros diarios los cuales se derivan en bovinos productores de leche (30 716 litros diarios) y bovinos no productores de leche (70 415 litros diarios). Esta demanda se debe a que la ingesta de agua es indispensable para el desarrollo corporal, productivo y nutricional del animal. Además, se evidencio la existencia de problemas de distribución y mal aprovechamiento de recurso, debido a que se registra solo un abrevadero autorizado que abastece de agua a toda el área, el cual genera a su vez un desequilibrio en el uso autorizado de agua para consumo y riego de los sectores alejados del abrevadero principal.

En respuesta a la pregunta directriz planteada para esta investigación se concluye que los efectos ambientales existentes dentro de la cuenca alta del río Tahuando provienen de la erosión del suelo a causa del pisoteo continuo y pastoreo excesivo, una emisión estimada de 4 500.5 kg de CH₄ al año y el consumo de 101 131 litros de agua diarios bajo un problema de aprovechamiento y distribución del recurso.

La aplicación del método PER determinó que las estrategias que responden a la protección de los recursos naturales expuestos por esta actividad son sistemas silvopastoriles, forestación en zonas de altas pendientes, mejoramiento de praderas, gestión adecuada de excretas, inseminación artificial y abrevaderos con flotadores. Estas estrategias responden a la protección del recurso suelo, el uso sostenible del recurso agua y la protección de la calidad del aire. Finalmente, proporcionaran seguridad sobre la continuidad de los recursos y la actividad, sin generar impactos negativos al medio ambiente.

5.2. Recomendaciones

Dentro del cálculo de la carga animal actual para un área determinada se debe considerar distintos factores tanto de los bovinos como de las zonas destinadas a pastoreo. Estos factores son la cantidad de materia seca consumida, peso vivo del animal, producción de forrajes y su capacidad regenerativa.

El área de estudio al ser un sector productor de leche, demanda una cantidad significativa de recursos sobre todo de agua, por ende, se recomienda la

actualización de abrevaderos no autorizados a las entidades gubernamentales con el fin de proponer estrategias direccionadas a las zonas que tienen acceso limitado al agua.

La intervención de las autoridades gubernamentales a nivel local es indispensable para la aplicación de las estrategias propuestas dentro de esta investigación, debido a que van encaminadas hacia las tres dimensiones del desarrollo sostenible, es decir, son económicamente rentables, ambientalmente justas y socialmente responsables.

Es necesario apoyar este tipo de investigaciones a nivel local y nacional para conocer de forma puntual, a largo plazo y con los recursos necesarios los efectos que ocasionan los bovinos producto de la actividad ganadera en zonas cálidas y templadas del Ecuador. Lo cual es necesario para pasar de una estimación a un cálculo y resultado exacto.

Los datos de este trabajo de investigación fueron recolectados antes y durante la aparición del COVID-19, por ello, es recomendable realizar un estudio post COVID-19 para conocer el estado de los recursos naturales, de la cuenca alta del río Tahuando y la variación de los efectos ambientales generados por esta actividad.

REFERENCIAS

- Acuerdo Ministerial 0279 de 2019 [Secretaría Nacional del Agua]. Por el cual se expiden los principios y lineamientos para integrar soluciones naturales en la gestión del agua. Art. 1, 4. 11 de abril de 2019.
- Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (2008). *Emisiones mundiales de metano y oportunidades de atenuación*. Asociación Methane to Markets. https://www.globalmethane.org/documents/methane_analysis_fs_spa.pdf
- Aguas de Ecuador. (2008). *Caracterización Hidrológica, abiótica, y biótica de la cuenca del río Tahuando ubicada en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura*. Ibarra, Ecuador.
- Albán, S. (2018). Género y Ganadería Climáticamente Inteligente en Ecuador. En J. Merino, J. Torres y J. Espinosa (Ed.), *Ganadería Climáticamente Inteligente en Ecuador, una colaboración estratégica entre la empresa privada y la FAO* (pp. 1-10). Proyecto GCI.
- Almada, R.M y Valencia, R. A. (2017). Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la Sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México. *Nóesis, volumen (27)*, 1-26. <http://dx.doi.org/10.20983/noesis.2018.3.1>
- Amador, C. y Pastora, W. (2017). Manejo de pastizales en sistemas de producción ganaderos de Nueva Guinea, Costa Caribe Sur de Nicaragua. *Revista Ciencia e Interculturalidad*, 20(1), 122-139. <https://doi.org/10.5377/rci.v20i1.4858>
- Andrade, D. (2017). *Lineamientos para el establecimiento de un área de conservación y uso sustentable en la parroquia de Angochagua, cantón Ibarra, provincia de Imbabura*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec>
- Artieda, A., Angelini, M., Barceló, S., Bautista, F., Benítez, V. M., Bojórquez, J. I., Burgos, J., Cabrera, F., Comerma, J., Cruz, G. C., Encina, R. A., Gardi, C., Jones, A., Krasilnikov, P., Montanarella, L., Schad, P., Vara, M.I., Vargas,

- R. y Yáñez, D. (Eds.). (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Unión Europea.
- Barrero, D. L. (2017). Estrategia Regional de Ganaderia Sostenible. *CODEGALAC*, 1-17.
- Beltrán, S, M.,Álvarez, F, G., Pinos, R, J. y Contreras, S,C. (2016). Emisión de metano en los sistemas de produccion de leche bovina en el valle de San Luis Potosí, México. *Agrociencia*, 50(3),297-305.
- Bonilla, C, J., Flores, C. (2012). Emisiones de metano entérico por rumiantes y su contribucion al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 3(2), 215-246
- Borrelli, P. (2001). Producción animal sobre pastizales naturales. En: P. Borrelli y G. Olivia (Eds.), *Ganadería Sustentable en la Patagonia Austral* (pp. 129-160). EEA Santa Cruz.
- Braz, M. A., García, P. H., Pinto, A. L., Chávez, E. S. y Oliveira, J. I. (2020). Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la Tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 29 (1), 69-85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>.
- Campoverde Encalada, C.R. y Sarmiento Sinchi, M.G. (2018). *Relación entre la disponibilidad primaria de los pastizales y la producción de leche en vacas al pastoreo, en los sistemas ganaderos en la zona occidental de la provincia del Azuay*". [Tesis de posgrado, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30001>
- Canadell, P., Stavert, A., Poulter, B., Saunio, M., Krummel, P., y Jackson R. (25 de Julio de 2020). *Las emisiones de metano aumentan peligrosamente: ¿Quién tiene la culpa?*. The conversation Academic rigor, jurnalistic flair <https://n9.cl/vdsh>

- Cañas, D. (2004). The genus *Polypogon* (Poaceae: Pooideae) in Colombia. *Caldasia*, 26 (2), 417-422. <https://doi.org/10.15446/caldasia>.
- Carbonell, C. T. (2009). *En situación de sequía. El ajuste de carga animal para la entrada y salida del invierno*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-6__carga_animal_en_invierno.pdf
- Castillo, V. Y., y Cabeza, G. C. (2016). Diseño de un sistema de recolección de agua por rocío y niebla ara el abastecimiento de agua a la comunidad del barrio la Esperanza, localidad de Chapinero. *Encuentro internacional de educación de ingeniería*. http://www.laccei.org/LACCEI2017-BocaRaton/student_Papers/SP318.pdf
- Castro, R., Gutiérrez, A., Hernández, G., Vaquera, H., Zaragoza, R., Guerrero, L., y Gutiérrez, A. (2018). Análisis de crecimiento estacional de trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Agro productividad*, 11 (5), 62-68.
- Caviedes, M., Pazmiño, S. y Ugsha, L. (2018). Costo de producción de mezclas forrajeras: Estimación de su rentabilidad. *Simposio Internacional Pastos y Forrajes de clima templado USFQ*, 16(1), 18-19.
- Cereceda, P., Hernández, P., Leiva, J. y Rivera, J. D. (2014). *Agua de niebla, nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas* (1ra Ed.). La discusión.
- Charlon, V., Tieri, M., Frank, F., y Engler, P. (2016). La huella del agua en la producción primaria de leche en Argentina. *Información técnica de producción anima 2016*, 10-15.
- Chi Chan, H. (2005). *Manejo de pastos: División del potrero en apartos*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
- Chicaiza, F. (2013). *Diagnóstico del uso actual y determinación de oportunidades de uso productivo y conservacionista del páramo de la parroquia Angochagua*. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/>

- Chuveico, E. (2008). *Teledetección ambiental*. Barcelona, España: Ariel.
- CIMAS. (2009). *Manual de Metodologías Participativas*. Madrid, España: Observatorio Internacional de Ciudadanía y Medio Ambiente Sostenible
- Coccimano, M., Lange, A. y Menvielle, E. (1965). *Estudio sobre equivalencias ganaderas*. Vol 4, 161-188. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina.
- Código Orgánico del Ambiente [COA]. Registro Oficial 507 de 2017. Art. 5, 22, 285. 12 de junio de 2019. (Ecuador).
- CONABIO, A. y GECI, T. (2016). Memoria del taller “Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad: prioridades en México”. CD de México.
- Constitución de la República del Ecuador [Const]. Art. 12, 15, 262, 318, 411. 20 de octubre de 2008 (Ecuador).
- Coppock, D.L. Fernández, G. M., Hiernaux, P., Huber, S. E., Schloeder, C., Valdivia, C., Tulio, A. J., Jacobs, M., Turin, C., y Turner, M. (2017). Rangeland Systems in Developing Nations: Conceptual Advances and Societal Implications. *Rangeland Systems*, 569-641.
- Crespo, D. (2011). Problemas y potenciales de la producción forrajera y pratense en Portugal. *Sociedad Española de Pastos*, 5(1), 150-167. ISSN: 0210-1270
- Cruz Ibagón, M.J. y Mosquera Rojas, S. (2008). Sistema de automatización para la dispensación de agua en abrevaderos de ganado vacuno [Tesis de tecnólogo, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/597/TTE_MosqueraRojasStivell_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Decuadro-Hansen, D.V.M. (2015). Consideración de diferentes aspectos de la Inseminación artificial (IA) en bovinos. *Maskana*, 6, 21-30. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/648>

- Dong, H., Mangino, J., McAllister, T. A., Hatfield, J. L., Johnson D. E., Lassey, K. R., Aparecida, M., Romanovskaya, A., Bartram, D., Gibb, D. y Martin, J. H. (2006). Emissions from Livestock and Manure Management. *Agriculture, Forestry and other Land Use* (pp. 1-87). IPCC
- Drabo, A. (2017). Climate change mitigation and agricultural development models: primary commodity exports or local consumption production?. *Ecological Economics*, 137, 110-125. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.014>
- Duarte, E. (2013). Uso del agua en establecimientos agropecuarios. Sistema de abrevadero (Parte 1) ¿Cuánta agua toma una vaca?. *Lechería. Revista Engormix*, 139, 52 – 55.
- Ecopar. (2013). Manejo adaptativo de áreas de pastoreo. En Ecopar (Ed.), *Implementación de buenas prácticas para el manejo adaptativo del sistema pecuario y la conservación del ecosistema páramo en la parroquia de Papallacta* (pp. 5-55). MAE
- Espinoza, L. F. (2015). *Estimación de la contaminación generada por la actividad pecuaria en la cuenca del río Machangara en las provincias de Cañar y Azuay como complemento a la ejecución de su Plan de Manejo Ambiental* [Tesis de Postgrado, Universidad del Azuay]. <https://posgrados.uazuay.edu.ec/>
- Fajardo, E. A. (2016). Modelo presión, estado, respuesta (p-e-r), para la clasificación de indicadores ambientales y gestión de la calidad del agua caso: cuenca del río Puyango Tumbes. *Instituto de Investigación RIIGEO*, 19(37), 39-46.
- FAO (18-20 of January of 2018). *Shaping the future of livestock: sustainably, responsibly, efficiently* [main speech]. The 10th Global Forum for Food and Agriculture (GFFA)
- FAO y FIDA. (2013). *Captación y Almacenamiento de agua de lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. FAO.

- FAO. (2007). Un nuevo enfoque de gestión de cuencas hidrográficas. En FAO (Ed.), *La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas* (pp. 45-65). Autoedición.
- FAO. (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo* (2a ed.). Editorial FAO y Earthscan.
- FAO. (2012). *Ganadería mundial 2011 –La ganadería en la seguridad alimentaria*. A. McLeod.
- FAO. (2015). *Guía metodológica para la implementación de Escuelas de campo para Agricultores (ECA) en sistemas silvopastoriles agroecológicos*. Ispa
- FAO. (2017). *Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM)*. GLEAM 2.0
- Fernández, L. A., Pérez, A., Cremades, J. Marín, R. (2007). La teledetección como herramienta de análisis del crecimiento urbano y su presentación en 3D. *Architecture, City and Environment*, 2(4), 675-693.
- Flórez, D. F. (2017). Estimación de la capacidad de carga del sistema de producción lechero de la vereda Fontibón del municipio de Pamplona. *Mundo Fesc*. (7)13, 15-21.
- Freeman, E. R. (2010). *A Stakeholder Approach*. New York, USA: Cambridge University Press
- García, V. D., Apolo, V.N., y Bermeo, P.J. (2019). Evaluación económica del sector agropecuario e industrial en el ecuador 1980 – 2015. *ECA Sinergia*, 10(2), 116-128. https://doi.org/10.33936/eca_sinergia.v10i2.1116
- Gaspari, F. J., Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Delgado, M. I. y Besteiro, S. I. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas* (1a ed.). EDULP.

- Ghisi, E., Berssan, D.L., y Martini, M. (2007). Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Building and environment*, 42(4), 1654-1666. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.007>
- Giraldo, J. J. (2007). Una mirada al uso de las inseminaciones artificiales en bovinos. *Lasallista de investigación*, 4(1), 51-57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69540108>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra. (2015). Actualización plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Ibarra 2015-2023. <https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes-programas/PDOT/Cantonal/PDOT%20IBARRA.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Angochagua. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial GAD Parroquial Angochagua 2015 - 2019. <https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes-programas/PDOT/Parroquial/PDOT%20ANGOCHAGUA.pdf>
- Golher, D. M., Patel, B. H., Bhoite, S. H., Syed, M. I., Panchbhai, G. J. y Thirumurugan, P. (2020). Factors influencing water intake in dairy cows: a review. *International Journal of Biometeorology*. 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02038-0>
- González, B.J. (25 de septiembre de 2019). *Conozca los beneficios de la inseminación artificial a tiempo fijo en la producción de carne y leche*. Agronegocios, <https://www.agronegocios.co/ganaderia/conozca-los-beneficios-de-la-inseminacion-artificial-a-tiempo-fijo-en-la-produccion-de-carne-y-leche-2912396>
- González, J. (2018). ¿Cuánta agua necesita mis vacas? *Revista Frisona Española*, 34 (201), 96-98.

- Hansen, P.J., y Block, J. (2004). Towards an embryocentric word: the current and potential uses of embryo technologies in dairy production. *Reproduction fertility and development*, 16(2), 1-14. <https://www.publish.csiro.au/rd>
- Haro, R.J., y Gómez, B.C. (2018). Mitigación de emisiones provenientes de la ganadería en la región andina. Proyecto; Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería de leche en la región andina dentro del contexto de cambio climático. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. Lima.
- Herrera, P. M. (Ed.) (2020). *Ganadería extensiva y cambio climático: un acercamiento en profundidad*. Fundación Entretantos y Plataforma por la Ganadería Extensiva y el Pastoralismo.
- Holgado, F. y Ortega, M. (2017). *Planificación de un sistema de producción de bovinos para carne*. Universidad Nacional de Tucumán.
- Holmann, F., Argel, P., Rivas, L., White, D., Estrada, R.D., Burgos, C., Pérez, E., Ramírez, G. y Medina, A. (2004). *¿Vale la pena recuperar pasturas degradadas? Una evaluación de los beneficios y costos desde la perspectiva de los productores y extensionistas pecuarios en Honduras*. CIAT
- Hong, Z., Wei-ming, H., y Shi-zhong, J. (2005). Impacts of overgrazing and reclamation on soil resources in rangeland ecosystems in Huailai Basin, Heibei, China. *Wuhan university journal of natural sciences*. 10 (4), 721-729. <https://doi.org/10.1007/BF02830386>
- INEC. (2013). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. *Dirección de estadísticas agropecuarias y ambientales*. Quito, Ecuador.
- INEC. (2020). Boletín técnico 01-2019-ESPAC: Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC) 2019. *Estadística agropecuaria y ambiental*. Quito, Ecuador.
- Jeanneret, P., y Moreiras, S. (2018). Inventario de procesos de remoción en masa en la cuenca baja del Río Blanco (31°S), Andes Centrales Argentinos.

Revista mexicana de ciencias geológicas, 35(3), 215-227.
<https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2018.3.787>

Jones, R., Aguilar, G. y Hernández, A. (2009). Impacto del pastoreo con ganado Holstein y Jersey sobre la densidad aparente de un andisol. *Agronomía Mesoamericana*, 20(2), 371-379. ISSN: 1021-7444

Jordán, M. C., Vera, E., Ortega, A. y Beltrán, L. (1998). Innovación tecnológica y desarrollo participativo el caso de forrajes cultivados en sistemas de producción campesinos en el Estado de México. *Ciencias naturales y agropecuarias*, 5(1), 63-72. ISSN 1405-0269

Kaur, N. y Gupta, R. (2017). Lupeol validation and quantification in *heteropogon contortus* (L.) Beauv. (spear grass) through high-performance thin-layer chromatography. *Asian journal of pharmaceutical and clinical research*, 10 (12), 392-395. <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2017.v10i12.21431>

Kopta, F. (1999). Problemática ambiental con especial referencia a la provincia de Córdoba. En: F. Kopta (Ed.), *Fundación Ambiente, Cultura y Desarrollo* (pp.203). UNESCO

Koul, K. (1990). Cytomixis en células madre de polen de *Alopecurus arundinaceus* Poir. *Cytologia*. 55(1), 169-173.

Lalampaa, P.K., Wasonga, O.V., Rubenstein, D.I., y Njoka, T.J. (2016). Effects of holistic grazing management on milk production, weight gain, and visitation to grazing areas by livestock and wildlife in Laikipia County, Kenya. *Ecol Process* 5(1),17. <https://doi.org/10.1186/s13717-016-0061-5>

Lao, R.B., y Peláez, H.D. (2018). La teledetección y los sistemas de información geográfica para el manejo de las tierras. *Ciencias técnicas agropecuarias*, 27(1),54-65.

Lemna, W. y Messersmith, C. (1990). The biology of Canadian weeds. 94. *Sonchus arvensis* L. *Canadian Journal of plant science*, 70(2), 509-532. <https://doi.org/10.4141/cjps90-060>

- León, R., Bonifaz, N., y Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador, siembra y producción de pasturas*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Ley Orgánica 305 de 2014. Por lo cual se regulan los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua. Art. 64. 6 de agosto de 2014. Of. No. SAN-2014-1178.
- Loayza, M. L. y Rosero, T. L. (2018). *Evaluación de las zonas de recarga hídrica en relación a las formaciones vegetales en la parroquia Angochagua*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/>
- López, J. L. (2015). *Alternativas de manejo sustentable de la subcuenca del río Pitura, provincial de Imbabura, Ecuador*. [Tesis de postgrado, Universidad Nacional de la Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/>
- Lu, H., Li, H., Wang, J. et al. Asignación óptima de recursos hídricos y terrestres en áreas pastorales basada en un equilibrio agua-tierra-forraje-ganado: un estudio de caso de Otog Front Banner, Mongolia Interior, China. *Environ Sci Pollut Res* 27, 10328–10341 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07559-9>
- Luisoni, L. H. (2010). *Ajuste de carga animal: aspectos teóricos y recomendaciones prácticas*. Centro Regional Santa Fe : INTA EEA Reconquista.
- MAG, MAE y FAO. (2019). Riesgo Climático Actual y Futuro del sector Ganadero del Ecuador. D. Bastidas y D. Guzmán (Ed.), *Ganadería Climáticamente Inteligente en Ecuador, una colaboración estratégica entre la empresa privada y la FAO* (1-103). Proyecto GCI
- Mang, S., Wang, G., Cai, H., Liu, S., Zhang, Z., Wang, L. y Innes, J. L. (2016). Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research*, 27(5), 967-994. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0293-3>

- Marín, S. I., y Sierra, M. A., (2016). *Propuesta de estrategias para la disminución del consumo de agua por ganadería lechera en la finca La Gaitana vereda Portachuelo municipio de ZZipaquirá por medio de la huella hídrica* [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle Ciencia Unisalle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria
- Martín, J. V. (2018). ¿Cuánta agua necesitan mis vacas?. *Temario. Revista Frisona Española, 201*, 96-98.
- Mayer, A. (2017). *Producción de carne y leche bovina en sistemas silvopastoriles: aprovechamiento de especies arbóreas, arbustivas y forrajeras (gramíneas y leguminosas perennes) de clima templado-frío, tropical y subtropical*. Ediciones INTA.
- Mejía, H. (2017). Degradación por sobre-pastoreo de los pastos nativos en la quebrada de Quillcayhuanca. *Aporte Santiaguino, 9(2)*, 265-276. <http://doi.org/10.32911/as.2016.v9.n2.200>
- Melgar, O. P. (2017). Determinación en la capacidad de carga animal en los potreros. *Ganadería. Revista Engormix. 4*, 9-14.
- Mena, P. A., Josse, C. y Medina, G. (2000). Los Suelos del páramo. *Abya Yala, 5(1)*, 27-35. Quito, Ecuador.
- Merma, E., Sánchez, N., Torres, A. y Belloso, J. (2002). *Gestión de ecosistemas lacustres de alta montaña: el caso de la subcuenca Pomacanchi*. Instituto de manejo de agua y medio ambiente (IMA).
- Milesi, O. y Jarroud, M (2016). La degradación de los suelos amenaza la nutrición en América Latina y el Caribe. *Ojo al Clima. Revista Inter Press Service. 3(1)*, 13-19.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (2015). *Rendición de cuentas*. Quito, Ecuador: MAGAP

- Miño, F., Ramírez, M., Limas, E., Meza, B. y Díaz, A. (2009). Degradación física del suelo por actividades antrópicas en la zona II de la cuenca de burgos, Tamaulipas, México. *Universidad Autónoma de Tamaulipas y Universidad de Murcia*. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/97832>
- Mohammed, N.A. (2016). Field study on evaluation of the efficacy and usability of two disinfectants for drinking water treatment at small cattle breeders and dairy cattle farms. *Environmental monitoring and assessment*, 188, 151. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5147-0>
- Molina, M. D. (2011). *Determinación de producción forrajera para el ajuste de cargas animales en sistemas de rotación en la hacienda los Alpes utilizando como método un Botanal*. [Tesis de pregrado, Corporación Universitaria Lasallista]. <http://repository.lasallista.edu.co/>
- Montaño, M., Hernández, A., Martínez, A., Ojeda, D., Núñez, A., y Guerrero, V. (2017). Producción y contenido nutrimental en avena forrajera fertilizada con fuentes químicas y orgánicas. *Fitotecnia Mexicana*, 40(3), 317-324.
- Montiel, K., Gouveia, E., y Montes, E. (2007). Influencia de la intervención antrópica en la ocurrencia de procesos de ladera. Microcuenca de la quebrada Ramos, Flanco Norandino venezolano. *Terra. Nueva Etapa*. 23 (34), 35-68. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72103403>
- Mora, M., Pescador, L., Ramos, L. y Almario J. (2017). Impacto de la ganadería sobre el suelo en Colombia. *Jaime Izquierdo Bautista* 17 ,1-12. <http://doi.org/10.25054/22161325.1212>
- Murphy, M. R. (1992). Water Metabolism of Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 75(1), 326-333. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77768-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77768-6)
- Nieto, M., Guzmán, M., y Steinaker, D. (2014). Emisiones de gases de efecto invernadero: simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 40(1),92-101.

- Oliera, Y., Machado, R., y del Pozo, P. (2006). Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. *Pastos y Forrajes*, 29(1), 5-29.
- Ortiz Forero, W.A., y Velandia Bernal, W.D. (2017). *Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la universidad católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua*. [Tesis de posgrado, Universidad católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15502/1/5>
- Pascual, J.A., Naranjo, M. F., Payano, R. y Medran, O. (2011). Tecnología para la recolección de agua de niebla. *Tecnología para la recolección de agua de niebla*, 1, 5-21. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4806.7048>
- Pedreira, B., Behling, M., Wruck, F., Barbosa, D., Meneguci, J., Carnevalli, R., Lopes, L. y Tonini, H. (2013). *Integración de cultivos-ganadería-bosque: experiencias en Mato Grosso, Brasil*. Congreso Internacional de Transferencia y Tecnología Agropecuaria, pp. 61-93.
- Peñaloza, J. R., Cadena, E. E., Peralta, E. y Peralta, R. G. (17-19 de octubre de 2018). *Implementación de un neblinómetro automático para la estación de la oferta de agua de niebla en la Cumbre de La Paz, Bolivia*. XXVI Jornadas de jóvenes investigadores AUGM, Universidad nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- Pérez, M. R. (2012). Indicadores de Sustentabilidad: utilidad y limitaciones. *Teoría y Praxis*, (11), 102-126.
- Perrine, H., Genowefa, B., Kowal, V., Bryant, B., Hawthorne, P. y Kramer, R. (2019). ¿Dónde debe pastar el ganado? Modelado y optimización integrados para orientar el manejo del pastoreo en la cuenca de Cañete, Perú. *Modelado de sistemas socioambientales*, 1 (16125), 1-14. <https://doi.org/10.18174/sesmo.2019a16125>

- Petty, S., Blood, D., Addison, J. y Petty, E. (2018). *Potential Carrying Capacity Review*. Spektrum Review PCC.
- Pizzio, R. M. y Royo, P. O. (2017). Diplomatura Superior en Producción Animal de Rumiantes. *UNNE – INTA Mercedes*. 3(8), 1-4.
- Plachter H., y Hampicke U. (2010) Nature Conservation Accounting for Large-Scale Livestock Grazing. *Large-scale Livestock Grazing*. 441-461. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68667-5_9
- Puente, M. A. (2010). *Participación comunitaria y prácticas alternativas hacia el manejo integral de cuencas: el caso de los altos centrales de Morelos*. Plaza y Valdés S.A de C.V. <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/38912>
- Quevedo, W., Ortiz, L., Sardán, S., Rivera, E., y García, D. (2019). Availability and water consumption for bovine livestock in the municipality of Mojocoya. *Science, technology and innovation magazine*, 17(20), 133-142.
- Quinde, G. E. y Zambrano, I. A. (2018). *Evaluación temporal del uso y cobertura vegetal del suelo en la subcuenca del río Llvirca y planteamiento de acciones para su manejo y gestión*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec>
- Quiroga, A., de la Orden, E. A., Justiniano, R. y Morláns, M. C. (2006)). Efecto del sobrepastoreo en un pastizal de altura. Cumbres de Hamaya. Catamarca. Argentina. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 15(3), 142-147.
- Rangel, A. C., Pallares, G. J. y Castro, F. G. (2008). *Determinación de buenas prácticas de ordeño en un grupo de gestión empresarial de ganaderos del altiplano cundiboyacense*. Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica, 11(1), 143-152.
- Requelme, N., y Bonifaz, N. (2012). Caracterización de sistemas de producción lechera de Ecuador. *La Granja*, 15(1), 55-69.

- Reyes, L., Pereyra, E. y Pérez, M. (2009). Método de Moderación – Metaplan- En E. Pereyra (Ed.), *Metodología eficiente y eficaz para lograr objetivos con participación grupal* (pp. 1-12). Quito, Ecuador: Chief trainer CEFE
- Richard, M. M. (2019). El agua, el alimento del que nunca pensamos como alimento. *Termario. Revista Frisona Española*, 205, 104-106.
- Roba, H. G. y Oba, G. (2009). Efficacy of Integrating Herder Knowledge and Ecological Methods for Monitoring Rangeland Degradation in Northern Kenya. *Hum Ecol* 37(5), 589–612. <https://doi.org/10.1007/s10745-009-9271-0>
- Rodríguez, J., Paz F., Lizárraga C., Watts, C., Yépez, E., Jiménez F., Castellanos A., Hinojo, C., y Macías, C. (2019). Mediciones de metano y bióxido de carbono usando la técnica de covarianza de vórtices en ganado lechero semiestabulado en Sonora, México. *Terra Latinamericana* 37(1),69-80. <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.412>
- Sahoo, S.P., Kim, K., y Powell, M. (2016). Managing Groundwater Nitrate Contamination from Livestock Farms: Implication for Nitrate Management Guidelines. *Current pollution reports*, 2, 178-187. <https://doi.org/10.1007/s40726-016-0033-5>
- Salvador, S. (2017). *Documento Técnico: Breve síntesis acerca del estado del conocimiento sobre ganadería, cambio climático y degradación de tierras en Ecuador*. MAE, MAGAP, FAO, GEF.
- Sandoval, P.A., Ramírez, M.M., Rodríguez, A.N., y Candelaria, M.b. (2020). Tropical trees and shrubs with potential to reduce the production of methane in ruminants. *Tropical and subtropical agroecosystems*. 23(2), 33.
- Schwartz, H. J. (2010). Water footprint of beef production-critical review of current approaches. *Argentina de Prod. Anim*, 30(2), 225-228.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida 2017-2021.

<https://www.planificacion.gob.ec/plan-nacional-de-desarrollo-2017-2021-toda-una-vida/>

- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. y Haan, C. (2006). *La larga sombra el ganado: problemas ambientales y opciones*. FAO
- Tapia, J., Atencio, L., Mejía, S., Paternina, Y., y Cadena, J. (2019). Evaluación del potencial productivo de nuevas gramíneas forrajeras para las sabanas del caribe en Colombia. *Agronomía costarricense*, 43(2), 45-60. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v43i2.37943>
- Tarazkar, M,H., Kargar, D,N., Ansari, R,A. y Pourghasemi, H,R. (2020). Factors affecting methane emissions in OPEC member countries: does the agricultural production matter?. *Environ Dev Sustain.* <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00887-8>
- Teixeira, C., Ludes, T., Sarmiento, N., Proenca, V. y Domingos, T, (2018). *Ganadería: Producción de pastos para Ganado*. Global Nature Fund. <https://fundacionglobalnature.org/wpcontent/uploads/2020/01/ganaderia.pdf>
- Terán, J. M. (2015). *Evaluación entre dos sistemas de pastoreo para ganado lechero (Bos taurus) en Machachi, Pichincha* [Tesis de Pregrado, Universidad San Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfg.edu.ec/>
- Teuber, N. K., Balocchi, O. L., y Parga, J. M. (2007). *Manejo del pastoreo*. INIA Remehue.
- Tola, A., Mamani, V., Aparicio, G., Valdez, R. y Illanes, M. (2012). *Compendio Agropecuario Observatorio Ambiental y Productivo*. La Paz, Bolivia.
- Torres, R., Aparicio, R., Astudillo, L., y Carrasquel, J. (2010). Dynamics of physicochemical variables of the water of lagoons situated on physiographys of "bancos, bajíos y esteros" to watering places for cattle, on hyperstational savannas of Mantecal, Apure state. *Zootecnia tropical*, 27(4), 437-442.

- Turcotte, J. A., Lopez, P. L. y McQuade, T. (2019). *La campaña de Mañana: Promoting awareness of threats to the water supply in Qingueo, Ecuador*. <https://digitalcommons.wpi.edu/iqp-all/5333>
- Umatambo, A. D. (2015). *Aplicación del modelo Rusle para el cálculo de la erosión hídrica en la microcuenca del río Cubí*. [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. <http://resoluciones.uce.edu.ec/>
- Vargas, J., Cárdenas, E., Pabón, M. y Carulla, J. (2012). Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. *Archivos de Zootecnia*, 6(237), 51-66. <https://doi.org/10.21071/az.v6i1i237.2958>
- Vega, J., Isabel, P., Montejo, J. M. y Recio, F. (2010). *Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente*. Centro de Ciencias Humanas y Sociales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Veiga, J. B. y Veiga, D. (2001). *Sistemas silvopastoriles en la Amazonia Oriental*. FAO.
- Vieira, M. J., Rodriguez, L. B., Tacsan, C. A. y Garcia, M. (1996). *Producción y Conservación de suelo y agua en áreas ganaderas: Conceptos y Técnicas*. San José, Costa Rica.
- Villacis, J. M. (2019). *Utilización de gramíneas y leguminosas para la producción de ganado bovino sostenible en el litoral ecuatoriano*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/>
- Villalobos, L. (2012). Fenología, producción y valor nutricional del pasto alpiste (*phalaris arundinacea*) en la zona alta lechera de Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 36(1), 25-37. <https://doi.org/10.15517/RAC.V36I1.9962>
- Wang, XM., Zhao, L., Yan, BG., Shi, LT., Liu, GC. y He, YX. (2016). Morphological and physiological responses of *Heteropogon contortus* to drought stress in a dry-hot valley. *Botanical Studies*, 57 (17), 1-12. <http://doi.org/10.1186/s40529-016-0131-0>

- Ward, D. y McKague, K. (2007). *Water Requirements of Livestock. Ontario. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Order No. 86-053. ISSN 1198-712X.*
- Yamil, P.T. (2015). *Evaluación de la desertificación en la provincia del Azuay a partir del año 1980* [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/>
- Zambrano, J. R. y Gamboa, H. M. (2011). *Análisis y Aplicación de un modelo de productividad para empresas del sector extractor de Leche Cruda, Caso: Agroindustrial "Las Lolas"* [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica de Quito]. <http://repositorio.puce.edu.ec/>
- Zavala, P. J. (2005). *Aspecto nutricional y tecnológico de la leche* (Ed.1). Bib. Orton IICA/CATIE.
- Zuluaga, A. F., Giraldo, C., y Chará, J. (2011). *Servicios ambientales que proveen los sistemas silvopastoriles y los beneficios para la biodiversidad. Manual 4, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible, GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia.*

ANEXOS

ANEXO 1

Anexo 1.1. Descripción botánica y taxonómica de especies forrajeras presentes en la zona

Trébol blanco

Nombre científico: *Trifolium repens*

Origen: África del norte, Asia y Europa

Ciclo vegetativo: Perenne



Descripción: El trébol blanco es un género de la familia leguminosa, herbáceas, perennes y adventicias de hábito rastro con crecimiento altitudinal de los 2.000 y 3.000 msnm (León et al., 2018, p. 175), adaptable a climas templado frío y húmedo, así como también a diversas clases de suelos, requiere de suelos bien drenados con exigencia del tiempo de luz y disponibilidad de agua, así mismo Castro et al. (2018) menciona que la especie *Trifolium* es resistente al pisoteo gracias a su hábito estolonífero y es utilizado en pastoreo rotacional en asociación con gramíneas como el kykuyo ya que aumenta la calidad de la leche y economiza el fertilizante nitrogenado con porcentaje en potreros es de 25-30%.

Avena forrajera

Nombre científico: *Avena sativa* L.

Origen: Asia menor

Ciclo vegetativo: Anual



Descripción: Planta perteneciente a la familia de las gramíneas, empleada especialmente en la alimentación de especies zootécnicas tiene una alta sensibilidad a la sequía y poco exigente a tipos de suelos, pero tiene una preferencia por terrenos profundos que retengan bien la humedad sin encharcarse, debido que es exigente a la cantidad de agua por tener un coeficiente de transpiración elevado. Así mismo, se desarrolla bien en ambientes mediterráneas con suficientes lluvias primaverales. Montaña et al. (2017), en un estudio realizado en la ciudad de Chihuahua-México menciona que la especie de avena forraje puede provocar varias repercusiones negativas hacia el ecosistema debido al uso excesivo de fertilizantes sintéticos, los cuales puede llegar a contaminar las fuentes de agua subterráneas y superficiales por lixiviados, aumento del PH del suelo, entre otros.

Pasto olco o lanudo

Nombre científico: *Holcus lanatus*

Origen: Europa, introducido hoy en día se halla en toda la región interandina

Ciclo vegetativo: Perenne



Descripción: El paso lanudo es una gramíneas invernada, bianual o perenne de vida corta frecuente en los prados de siegas de la Sierra, tolera suelos bajos en fosforo y saturación de aluminio, se utiliza para pastoreo en zonas de más de 2800 msnm y sin riego, al ser mezclado con el trébol se convierte en forrajes de buena calidad para producción de leche (León et al., 2018, p. 148). Así mismo ayuda a la conservación de suelos, pendientes y evita la erosión, así mismo se lo puede encontrar de forma sub espontanea en potreros naturales y artificiales útil en pasturas de paramo.

Pasto oloroso

Nombre científico: *Anthoxanthum odoratum*

Origen: Eurasia

Ciclo vegetativo: Perenne



Descripción: Especie perteneciente a la familia Poacea, utilizadas en pastoreo rotacional con asociación de trébol blanco y trébol rojo, contenido de proteína de

8% y digestibilidad 55% tiene una buena tolerancia a la saturación de aluminio, así como también son adaptables a alturas de 1800 a 3000 m.s.n.m. En ese mismo contexto, la especie *A. odoratum* tiene alta probabilidad de producir descendencia fértil por hibridación o provocar cambios reversibles a largo plazo, cambios en las redes tróficas y afectaciones en el tamaño de las poblaciones nativas, debido a que la especie compite por el potasio en comparación con otras malezas. Finalmente, CONABIO y GECI (2016), menciona que *A. odoratum* contiene cumarinas los cuales promueven la producción de moho dando como consecuencia la toxicidad de bovinos a través de la digesta de la especie.

Pasto común

Nombre científico: *Brachiaria decumbens*

Origen: África oriental, muy común en Uganda

Ciclo vegetativo: Perenne



Descripción: Planta forrajera más utilizada en América tropical perteneciente a la familia de las Poacea con alrededor de 100 especies redistribuidas por todo el tropico, principalmente en África, el género *Brachiaria* posee algunas especies que se pueden considerar de importancia, entre las que se destacan, como gramíneas forrajeras, *Brachiaria purpurascens*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria humidicola* y *Brachiaria dictyoneura*, son ampliamente conocidas por sus cualidades forrajeras con alta adaptabilidad a suelos pobres y ácidos, capaces de tolerar el encharcamiento y la acidez, así mismo, Olier et al. (2006), menciona

que algunas de las especies poseen un rendimiento de biomasa comestible aceptable debido a su gran valor nutritivo y digestivo.

Raigrás perenne

Nombre científico: *Lolium perenne* L.

Origen: Zona templada de Asia y el Norte del África

Ciclo vegetativo: Perenne



Descripción: Especie con forma de matas densas con abundantes macollos y forrajes que alcanzan una altura promedio de 30-60 cm, importante en pastura destinado a la alimentación de bovinos lecheros por su productividad, gran valor nutritivo y larga duración. En el Ecuador tiene corta duración debido a la competencia con especies invasoras menos valiosas como kikuyo, gramas, pajillas entre otros. Estas especies son adaptables a climas templado-frío con tolerancia a las heladas, pero no al anegamiento superficial. León et al. (2018, p. 151), menciona que *L. perenne* tiene tolerancia al pisoteo por lo cual es aprovechado mediante el pastoreo prescindible en todos los potreros interandinos que dispongan de humedad y fertilidad así mismo sirven como amortiguador para el desarrollo de malezas.

Raigrás anual

Nombre científico: *Lolium multiflorum* Lam.

Origen: Mediterráneo, sur de Europa, norte de África y Asia menor

Ciclo vegetativo: Anual



Descripción: Perteneciente a la familia de las poaceas de mediano desarrollo 60-90 cm de altura, especie forrajera de la mejor elección, debido a su rápida germinación, destreza para crecer, elevado rendimiento, calidad nutricional y alta resistencia al pisoteo. Tiene buena adaptación a climas templado húmedos y fríos; y no tolera las sequías. Por el contrario, la especie es susceptible a terrenos con capa freática superficial, encharcados o con exceso de humedad. Por último, esta especie se utiliza para corte y también para pastoreo. León et al. (2018, p. 154), menciona que *L. multiflorum* tiende a desaparecer por consecuencia de la compactación del suelo.

Trébol rojo

Nombre científico: *Trifolium pratense*

Origen: Suroeste de Europa y Asia menor

Ciclo vegetativo: Bianual o perene de vida corta



Descripción: Especie con crecimiento en forma de matas aisladas usada en pastoreo rotativo , especie exigente en fertilidad desarrollándose en terrenos con texturas media a pesada y profundidad media a profunda con capacidad de retención de humedad, utilizada para corte, elaboración de heno y pastoreo en conjunto con raigrás anual o híbrido, así mismo, posee propiedades como la fijación simbiótica y transferencia de nitrógeno (N), tiene como desventaja la baja resistencia a enfermedades (León et al., 2018, p. 178).

Kykuyo

Nombre científico: *Pennisetum clandestinum*

Origen: Kenya, África

Ciclo vegetativo: Perenne



Descripción: Gramínea vivaz que se extiende superficialmente a través de los estolones con crecimiento espontáneo en toda la región interandina de 1500-3000 m.s.n.m denominado pasto natural de la región sierra utilizado como alimento de bovinos, adaptable a suelos con suficiente humedad con baja resistencia a las sequías y heladas. León et al. (2018, p. 161), menciona que la especie *P. clandestinum* soporta altas cargas animales y alta producción debido a que invade tierras agrícolas constituyéndola, así como una plaga.

Zacate barba negra

Nombre científico: *Heteropogon contortus*

Origen: América

Ciclo vegetativo: Perenne



Descripción: Pasto tropical común en las orillas de las carreteras y en ambientes andinos subxerofíticos entre los 1000 y 2700 m.s.n.m. Esta especie perteneciente a la familia de las poáceas tiene una alta tolerancia a ambientes que tengan fertilidad baja, debido a que la especie fija su propio nitrógeno (N) y no requiere de mucha agua. Wang et al. (2016) menciona que es una valiosa especie de pasto forrajero, utilizado para restauración de la vegetación debido a su alta tolerancia a bajos recursos como nutrientes y agua. Esta especie es el mayor problema sobre la reducción del valor de la lana como consecuencia de la penetración de aristas dentro del pelaje de las ovejas los cuales generan infecciones graves (Kaur y Gupta, 2017).

Cardincha

Nombre científico: *Sonchus arvensis*

Origen: Europa y Asia del oeste

Ciclo vegetativo: Perenne



Descripción: Perteneciente a la familia de las asteráceas, especie exótica introducida con tolerancia a los suelos salinos o neutros pero no a suelos ácidos. Esta especie se adaptan a zonas húmedas, soleadas, templadas, dentro de un invernadero se correlacionan positivamente con el aumento del pH en el suelo. Se encuentra a lo largo de las carreteras, riberas de ríos, lagos, áreas de desechos y campos cultivados, definida como una maleza difícil de controlar debido a su fácil distribución, (Lemna y Messersmith, 1990).

Rabo de gallo

Nombre científico: *Polypogon elongatus*

Origen: Continente americano

Ciclo vegetativo: Anuales o perennes



Descripción: Especie de la familia Poacea más conocido como rabo de gallo o pasto peludo, tiene mayor frecuencia en campos húmedos poco recargado por las especies animales domésticas. Crecen en zonas montañosas de entre los 1 200 a 3 200 m de altitud, principalmente por los bordes de pequeñas corrientes de agua, lagunas, bosque montano húmedo, además, son frecuentes en áreas cultivadas, pero *P. elongatus* nunca llega a construir grandes matas (Cañas, 2004).

Falaris de los bañados

Nombre científico: *Phalaris arundinacea*

Origen: hemisferio del norte de Europa

Ciclo vegetativo: Perenne



Descripción: Especie perteneciente a la familia de las poáceas. Se desarrolla mejor en suelos con pH ácido, neutro o alcalino. Es una especie estéril del “reed canary grass” utilizado en sistemas de corte y acarreo para pastoreo con un valor nutricional de materia seca del 17.30%. Posee niveles de extracción de nitrógeno del suelo elevados, por ende, su sistema de corte debe ir acompañado con programas de fertilización con el propósito de evitar una degradación del suelo (Villalobos, 2012).

Olopecuro

Nombre científico: *Alopecurus sp.*

Origen: Eurasia y Sudamérica

Ciclo vegetativo: Anuales y perennes



Descripción: Esta especie también conocida como colar de zorro pertenece a la familia de las poaceas, tiene tolerancia a climas fríos y así mismo a la constante humedad y la sombra. Algunas especies son consideradas como malas hierbas mientras otras son usadas con fines decorativos (Koul, 1990).

ANEXO 2

Anexo 2.1. Oficio dirigido a AGROCALIDAD



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACS-2013-13
Ibarra-Ecuador

SCIENTIA ET THECNICUS IN SERVITIUM POPULI

Memorando Nro. UTN-FICAYA-CIRNR-2020-530A-M
Ibarra, 29 de octubre 2020

Ingeniera
Alexandra Chicaiza
JEFATURA DE SANIDAD AGROPECUARIA DE IMBABURA
AGROCALIDAD

De mis consideraciones:

A nombre de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Universidad Técnica del Norte, reciba un cordial saludo y a la vez auguro éxitos en su labor en beneficio del sector agrícola y pecuario de la provincia de Imbabura.

Con la finalidad de realizar el trabajo de titulación "Análisis de los efectos ambientales del pastoreo de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando - Imbabura" de autoría de las señoritas estudiantes Diana Priscilla Cabascango Flores y Andrea Micaela Roldán Chacón bajo mi dirección, me permito solicitar de la manera más respetuosa, de ser factible, los datos de la población bovina dentro de la parroquia Angochagua cantón Ibarra. En ese sentido, cordialmente solicito entregar la información a la señoritas estudiantes o si lo Usted lo considera conveniente enviar a mi correo electrónico dparias@utn.edu.ec

Su aporte a esta actividad estudiantil, contribuye eficazmente la gestión académica y profesional, por lo que expreso mi especial agradecimiento.

Por su gentil atención y colaboración, le agradezco.

Atentamente,

"CIENCIA Y TÉCNICA AL SERVICIO DEL PUEBLO"

Ing. Paul Arias
CORRINADOR DE CARRERA (E)

Correo electrónico: dparias@utn.edu.ec
Teléfono celular: 090522564
Señorita Micaela Roldán, correo electrónico: amroldanc@utn.edu.ec
Teléfono celular/0969226594



MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

Anexo 2.2. Oficio dirigido al MAAE



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

Ibarra, 19 de Febrero 2021

Ingeniero
Iván Posso Vargas
DIRECTOR ZONAL IMBABURA
MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA

De mis consideraciones:

A nombre de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Universidad Técnica del Norte, reciba un cordial saludo y a la vez auguro éxitos en su labor en beneficio del medio ambiente y agua de la provincia de Imbabura.

Con la finalidad de realizar el trabajo de titulación "Análisis de los efectos ambientales del pastoreo de bovinos en la cuenca alta del río Tahuando - Imbabura" de autoría de las señoritas estudiantes Diana Prisilla Cabascango Flores y Andrea Micaela Roldán Chacón bajo mi dirección, me permito solicitar de la manera más respetuosa, de ser factible, los datos de las juntas de agua presentes en la cuenca alta del río Tahuando, dentro de la parroquia Angochagua cantón Ibarra. En ese sentido, cordialmente solicito entregar la información a la señoritas estudiantes o si Usted lo considera conveniente enviar a mi correo electrónico dparias@utn.edu.ec

Su aporte a esta actividad estudiantil, contribuye eficazmente la gestión académica y profesional, por lo que expreso mi especial agradecimiento.

Por su gentil atención y colaboración, le agradezco.

Atentamente,

"CIENCIA Y TÉCNICA AL SERVICIO DEL PUEBLO"

Ing. Paul Arias

COORDINADOR DE CARRERA (E)

Correo electrónico: dparias@utn.edu.ec

Teléfono celular: 090522564

Señorita Micaela Roldán, correo electrónico: amroldan@maae.gob.ec

Teléfono celular: 0969226594

Documento No.: MAAE-DZ3-2021-0660-E
Fecha: 2021-02-19 11:12:54 GMT -05

Recibido por: MÓNICA LUCÍA MORA RIVADEREIRA

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, de gestión y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.
con el asunto: 1002943544

ANEXO 3

Anexo 3.1. Presencia de bovinos en el área de estudio



ANEXO 4 SALIDAS DE CAMPO

Anexo 4.1.

Reconocimiento de especies forrajeras y terracillas



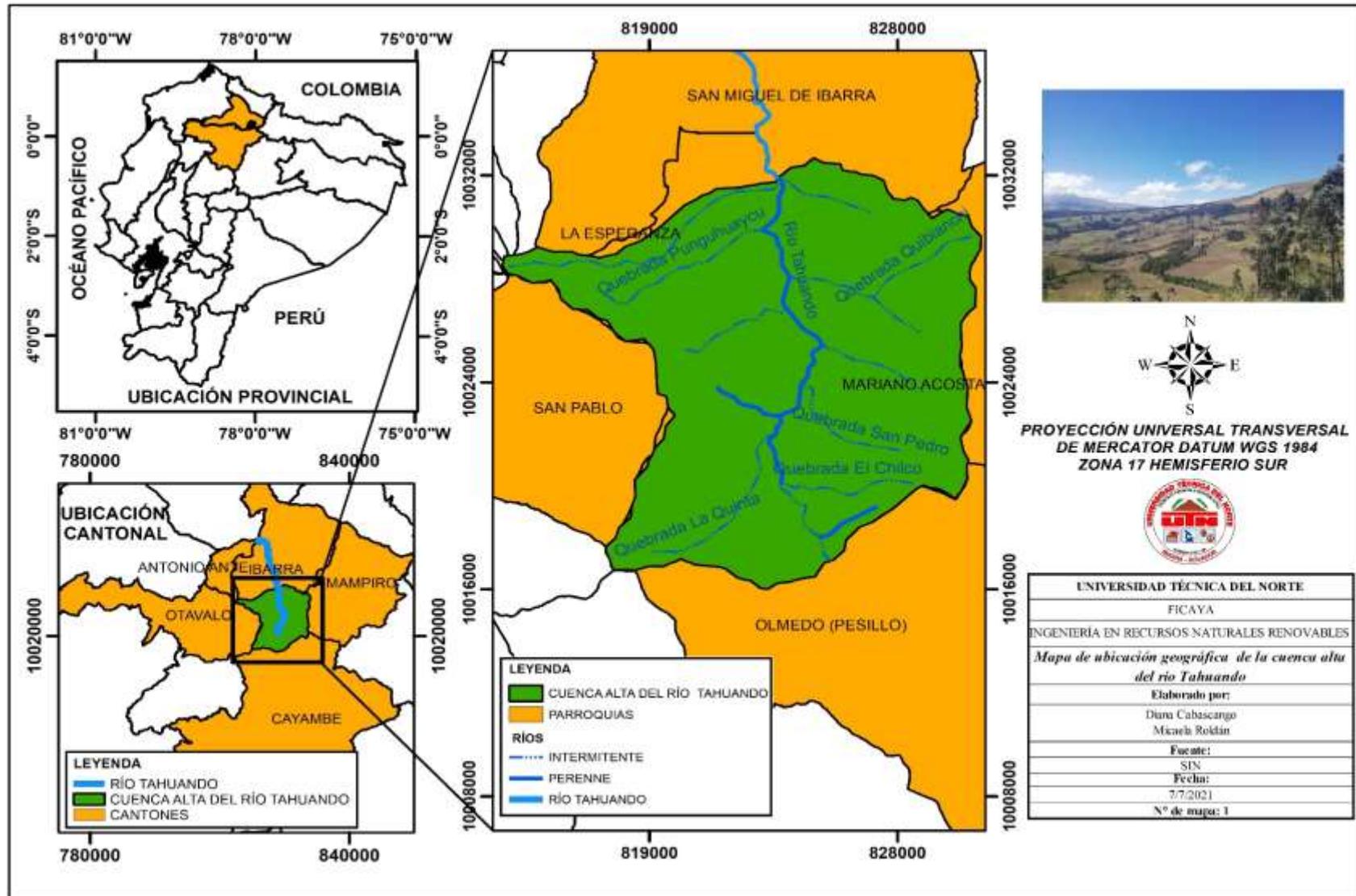
Anexo 4.2.

Visita a los centros de acopio de la zona

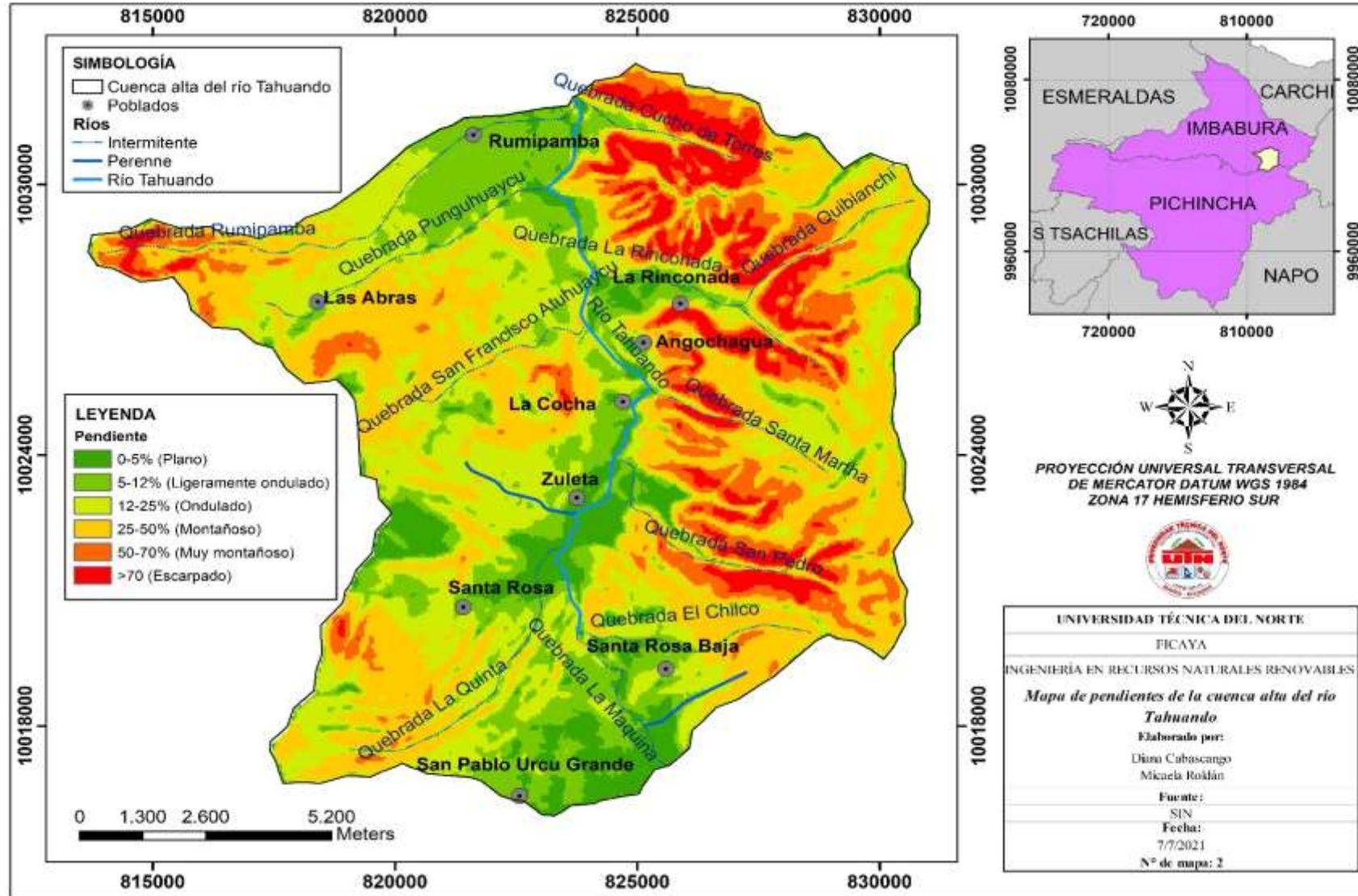


ANEXO 5 MAPAS

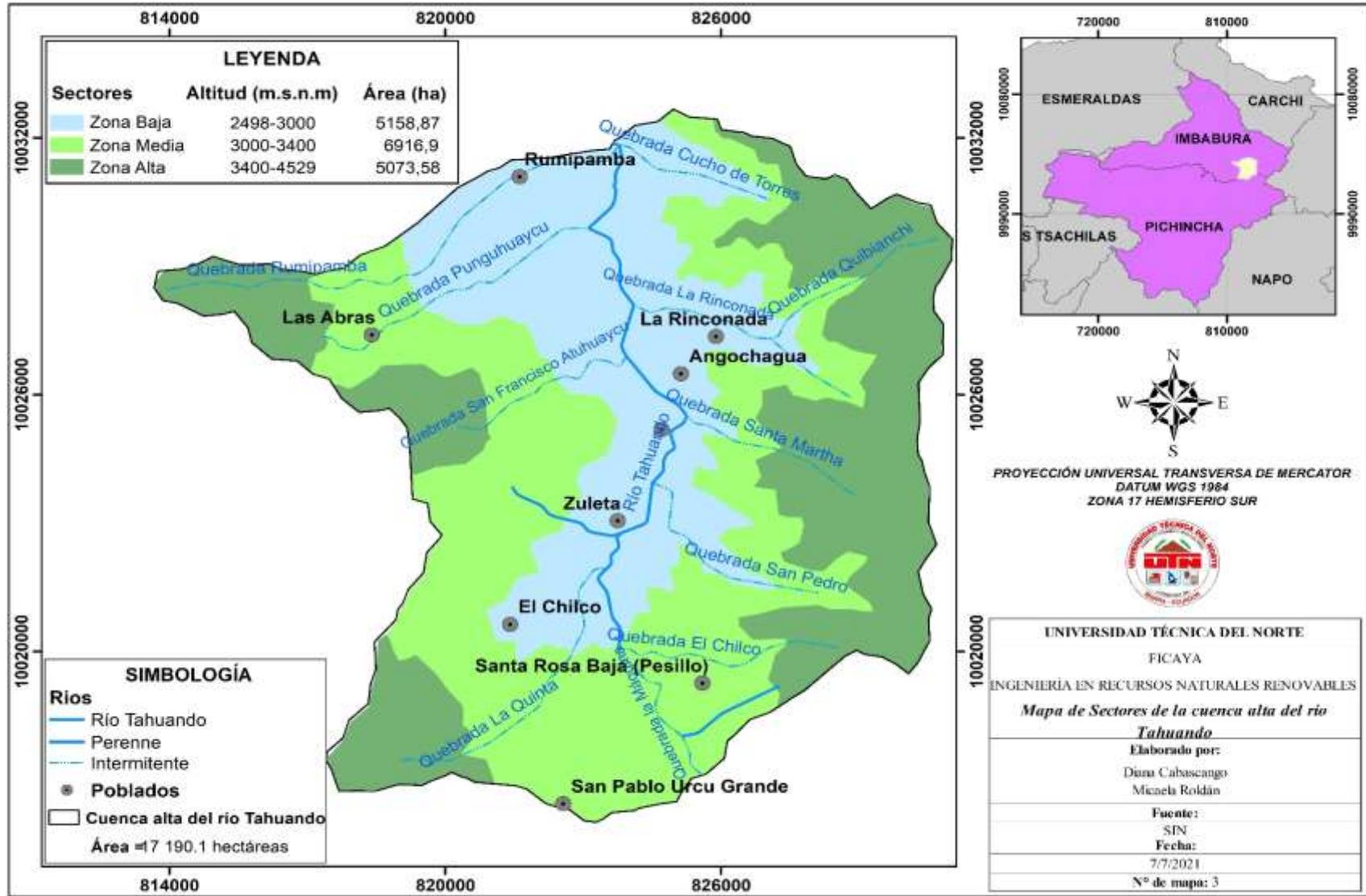
Anexo 5.1. Ubicación geográfica de la cuenca alta del río Tahuando



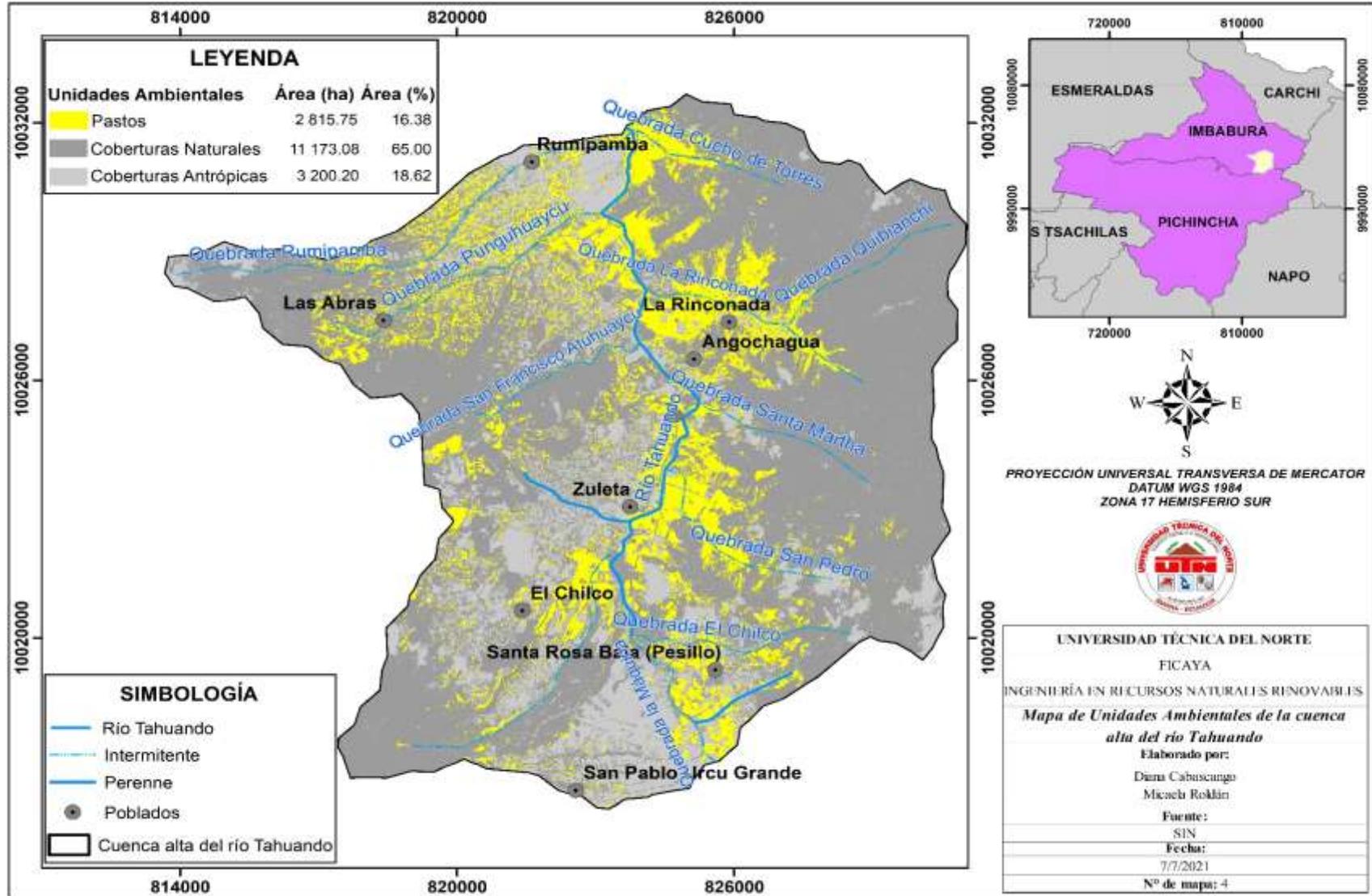
Anexo 5.2. *Inclinación del terreno de la cuenca alta del río Tahuando*



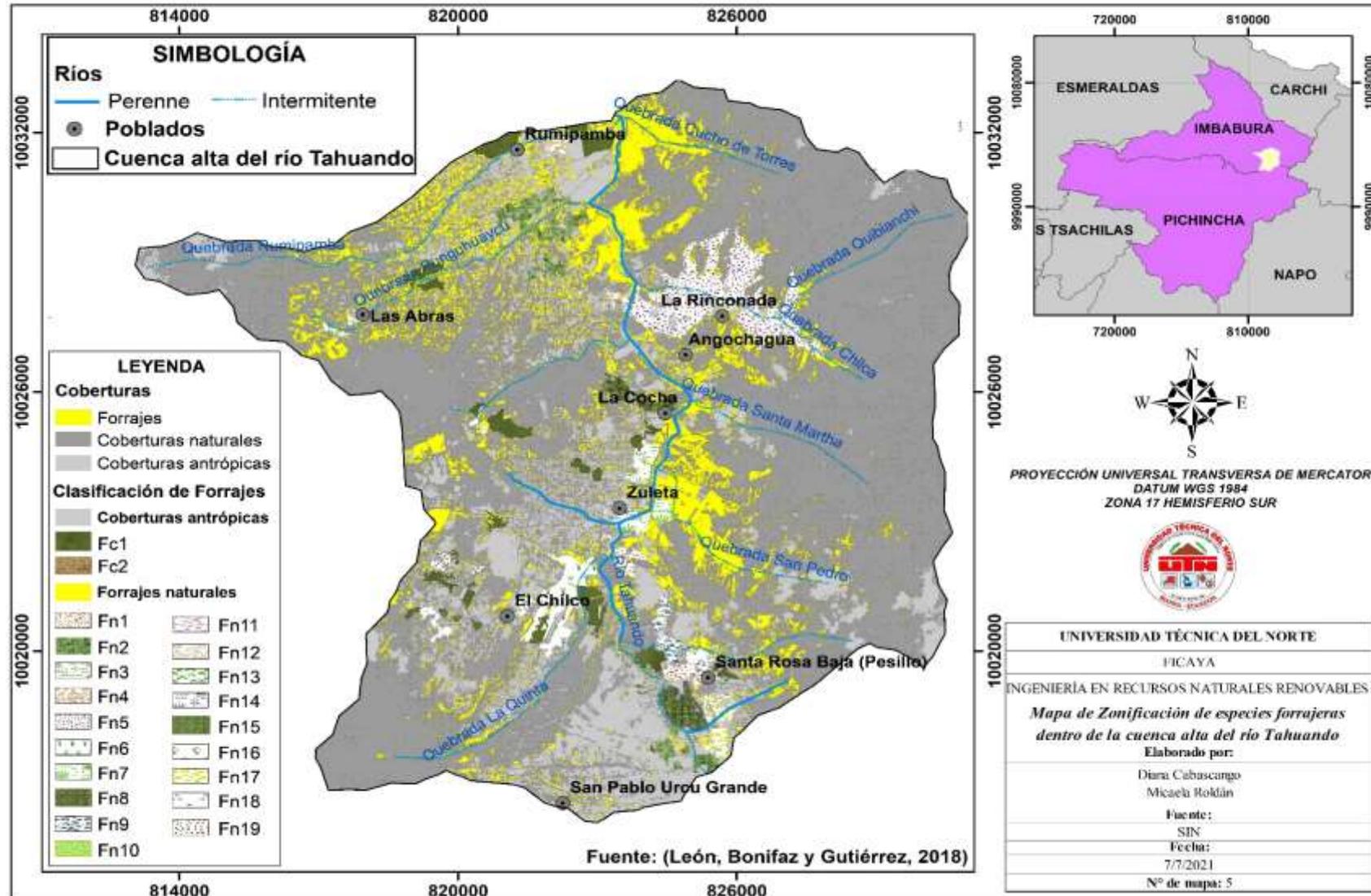
Anexo 5.3. Sectores de la cuenca alta del río Tahuando



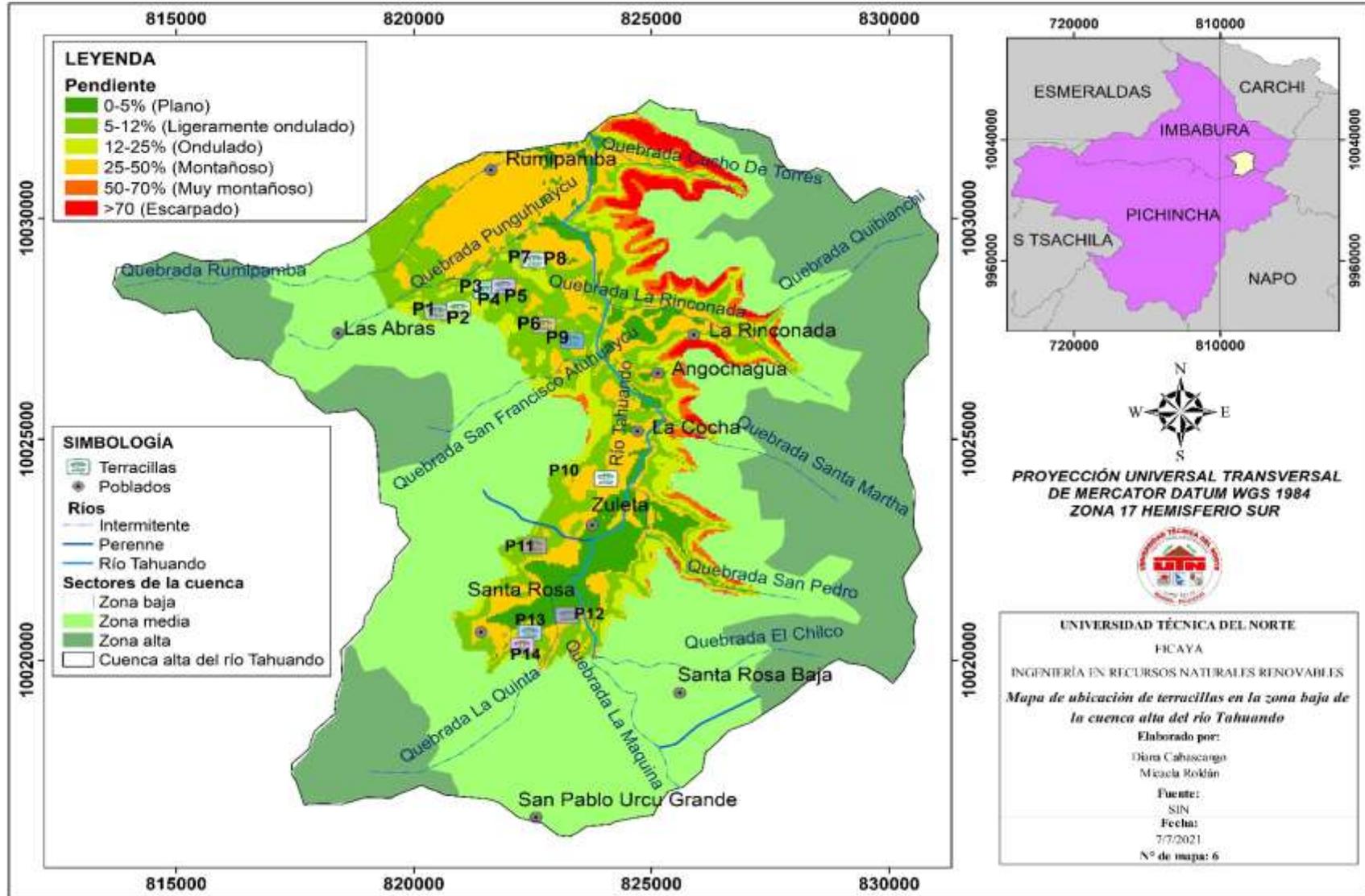
Anexo 5.4. Unidades ambientales de la cuenca alta del río Tahuando



Anexo 5.5. Zonificación de especies forrajeras dentro de la cuenca alta del río Tahuando



Anexo 5.6. Ubicación de terracillas en la zona baja de la cuenca alta del río Tahuando



Anexo 5.7. Ubicación de terracillas en la zona media de la cuenca alta del río Tahuando

