

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN AGROECOLOGÍA Y AMBIENTE

Tema:

“EFECTO DEL VALOR NUTRIMENTAL DE *Chenopodium quinoa* SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL *in vitro* Y POBLACIÓN DE PROTOZOARIOS DEL RUMEN EN BOVINOS”

Trabajo de Titulación

Previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en Agroecología y
Ambiente

Autor: Ing. Mariana del Rocio Cajas Naranjo

Director: Ing. Marcos Antonio Barros Rodríguez, Ph.D

Ambato - Ecuador

2016

Al Consejo de Posgrado de la Universidad Técnica de Ambato.

El Tribunal de Defensa del trabajo de titulación presidido por el Ingeniero José Hernán Zurita Vásquez, Mg. Presidente del Tribunal, e integrado por los señores Ingeniero Ramón Gonzalo Aragadvay Yungán M.Sc., Ingeniera Marilú Manuela González Parra M.Sc., Ingeniero Luis Oswaldo Jiménez Esparza Mg., Miembros del Tribunal de Defensa, designados por el Consejo Académico de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar la defensa oral del trabajo de titulación con el tema: **“EFECTO DEL VALOR NUTRIMENTAL DE *Chenopodium quinoa* SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL *in vitro* Y POBLACIÓN DE PROTOZOARIOS DEL RUMEN EN BOVINOS”**, elaborado y presentado por la Señorita Ingeniera Mariana del Rocío Cajas Naranjo, para optar por el Grado Académico de Magíster en Agroecología y Ambiente

Una vez escuchada la defensa oral el Tribunal aprueba y remite el trabajo de titulación para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. José Hernán Zurita Vásquez, Mg.
Presidente del Tribunal de Defensa

Ing. Ramón Gonzalo Aragadvay Yungán, M.Sc.
Miembro del Tribunal

Ing. Marilú Manuela González Parra, M.Sc.
Miembro del Tribunal

Ing. Luis Oswaldo Jiménez Esparza, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de titulación con el tema: “EFECTO DEL VALOR NUTRIMENTAL DE *Chenopodium quinoa* SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL *in vitro* Y POBLACIÓN DE PROTOZOARIOS DEL RUMEN EN BOVINOS”, le corresponde exclusivamente a Ingeniera Mariana del Rocío Cajas Naranjo, Autora bajo la Dirección de Ingeniero Marcos Antonio Barros Rodríguez Ph.D, Director del trabajo de titulación; y el patrimonio intelectual del mismo a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Mariana del Rocío Cajas Naranjo
Autora

Ing. Marcos Antonio Barros Rodríguez, Ph.D
Director

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este trabajo de titulación como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los Derechos de mi trabajo de titulación, con fines de difusión pública, además autoriza su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ing. Mariana del Rocío Cajas Naranjo

C.C. 1803458437

DEDICATORIA

Mi Dios “Cada vez que me caí, cada vez que me sentí atrapada, siempre me mostraste la luz que me guiaría a la salida” por eso este trabajo te lo dedico con todo mi amor.

También el mérito a mi madre Anita por todo su sacrificio, apoyo y dedicación, a mis hijas Cristin y María por ser el sol de mi vida, a mis hermanos queridos Franklin y Patricia, y a toda mi familia por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

“Cuando Dios te permita llegar a la cima, no lo hace para que te quedes ahí, lo hace para que desde lo alto puedas ver cuál será tu siguiente meta y conquistarla”

A la Universidad Técnica de Ambato y principalmente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias por poner a mi disposición sus instalaciones, personal y medios técnicos necesarios para la finalización de esta maestría.

Un especial agradecimiento a mi director de tesis, al Ing. Marcos Antonio Barros Rodríguez, Ph.D, por su gran apoyo, consejos y contribución en esta investigación.

Infinitas gracias a todos mis amigos por ser incondicionales y apoyarnos mutuamente, y a todos quienes de una u otra forma contribuyeron para alcanzar este logro en mi vida profesional.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	3
EL PROBLEMA	3
1.1. TEMA	3
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2.1. Contextualización.....	3
1.2.2. Análisis crítico	4
1.2.3. Prognosis	5
1.2.4. Formulación del problema	6
1.2.5. Preguntas directrices	6
1.2.6. Delimitación del objeto de investigación	6
1.3. JUSTIFICACIÓN	6
1.4. OBJETIVOS	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos	8
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. ANTECEDENTE INVESTIGATIVOS.....	9
2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....	10
2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL	11
2.4. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	12
2.4.1. Gases de efecto invernadero.....	12
2.4.2. Responsabilidad de la ganadería	12
2.4.3. Fermentación ruminal	14
2.4.4. Flora ruminal.....	14
2.4.4.1. La actividad de la flora ruminal.	15
2.4.5. Subproductos de la fermentación ruminal	15
2.4.5.1. Producción de metano en los rumiantes.....	15
2.4.5.2. Producción de ácido AGV	16
2.4.6. Estrategias para disminuir los gases de efecto invernadero	16
2.4.6.1. Manejo de la Nutrición como estrategia para mitigar los GEI.....	17

2.4.7. Compuestos bioactivos de las plantas estudiados para mitigar los GEI.	17
2.4.7.1. Taninos y Saponinas	18
2.4.7.2. Compuestos secundarios de la quinoa.....	18
2.4.8. Cultivo de Quinoa en el Ecuador	18
2.4.8.1. Contenido nutricional de la quinoa	19
2.4.8.2. La quinoa en la alimentación animal	20
2.4.9. Producción bovina del Ecuador	20
2.5. HIPÓTESIS.....	21
2.6. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	21
CAPÍTULO III.....	22
METODOLOGÍA	22
3.1. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	22
3.2. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	22
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	22
3.3.1. Variable independiente	22
3.3.2. Variables dependientes.....	23
3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	23
3.4.1. Ubicación del ensayo	23
3.4.2. Caracterización del lugar.....	24
3.4.3. Metodología utilizada	24
3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	25
3.5.1. Factores de estudio.....	25
3.5.2. Tratamientos.....	25
3.5.3. Diseño experimental.....	25
3.5.4. Análisis estadístico.....	25
CAPÍTULO IV.....	26
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	26
4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1.1. Contenido nutrimental de quinoa (Chenopodium quinoa).....	26
4.1.2. Digestibilidad in vitro de la MS, producción de gas in vitro y cinética de degradación ruminal in situ	27
4.1.3. Población de protozoarios ruminales	28

4.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	29
CAPITULO V	31
CAPITULO VI.....	32
PROPUESTA.....	32
6.1. DATOS INFORMATIVOS	32
6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	32
6.3. JUSTIFICACIÓN	32
6.4. OBJETIVOS	33
6.4.1. Objetivo general	33
6.4.2. Objetivos específicos	33
6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	33
6.6. FUNDAMENTACIÓN	34
6.7. METODOLOGÍA	34
6.8. ADMINISTRACIÓN	34
6.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN	34
MATERIALES DE REFERENCIA.....	35
ANEXOS	39
FOTOGRAFÍAS	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de los principales protozoos ruminales con los substratos de fermentación preferentes.....	14
Tabla 2	Composición química de la quínoa (Jimenez y Gomez, 2005).....	19
Tabla 3	Operacionalización de variable independiente.....	23
Tabla 4	Operacionalización de variable dependiente.....	23
Tabla 5	Screening fitoquímico de la semilla de quínoa, Planta entera de quínoa y rastrojo de quínoa.....	26
Tabla 6	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la MS, Producción de gas <i>in vitro</i> y cinética de degradación ruminal <i>in situ</i> (g/kg MS, excepto donde se señala lo contrario).....	27
Tabla 7	Población de protozoarios ruminales a diferente horas de muestreo ($\log_{10}$).....	29

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1.	Árbol de problema.....	5
Grafico 2.	Emisión de GEI de sistemas ganaderos extensivos e intensivos, FAO (2009).....	13

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN AGROECOLOGÍA Y AMBIENTE

Tema: “EFECTO DEL VALOR NUTRIMENTAL DE *Chenopodium quinoa* SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL *in vitro* Y POBLACIÓN DE PROTOZOARIOS DEL RUMEN EN BOVINOS”

Autor: Ing. Mariana del Rocio Cajas Naranjo

Director: Ing. Marcos Antonio Barros Rodríguez, Ph.D

Fecha: 12 de octubre del 2015

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del valor nutrimental de *Chenopodium quinoa* sobre la fermentación ruminal *in vitro* y población de protozoarios del rumen en bovinos. Se utilizó un toro provisto de una cánula en el rumen. Se evaluaron los siguientes tratamientos: semilla de quínoa (SQ), planta entera de quínoa (PEQ) y rastrojo de quínoa (RQ), (Tunkahuan). Se analizaron las siguientes variables de respuesta: compuestos secundarios, degradación ruminal *in situ* de la materia seca (MS), digestibilidad aparente de la MS *in vitro* (DIVMS), producción de gas *in vitro* (PGIV), poblaciones de protozoarios ruminales. Los resultados del screening fitoquímico muestran leve concentración de saponinas para SQ y PEQ, presencia cuantiosa de alcaloides para SQ y PEQ. La mayor ($P<0.05$) DIVMS y menor PGIV se observó en SQ (80.6% y 280.98 ml de gas/0.5mg MS fermentable, respectivamente). Con respecto a la degradación ruminal de la MS el mayor ($P<0.05$) porcentaje se observó en SQ y PEQ (97.7 y 80.8 respectivamente). La población de protozoarios Holótricos a partir de las 24 horas se redujo a 0 en todos los tratamientos, con respecto a la población de Entodiniomorfos a partir de las 24 horas se observó diferencias ($P=0.0001$) entre los tratamientos, siendo la menor población para la PEQ. Se puede concluir que SQ y PEQ se podrían incluir en la alimentación de los bovinos ya que mejora los parámetros de fermentación ruminal y reduce la producción de gas.

Descriptores: Compuestos secundarios, degradación ruminal *in situ*, digestibilidad aparente, producción de gas *in vitro*, protozoarios, quinoa

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN AGROECOLOGÍA Y AMBIENTE

Topic: “EFFECT OF NUTRITIONAL VALUE OF *Chenopodium quinoa* RUMINAL ON FERMENTATION IN VITRO AND RUMEN PROTOZOA POPULATION BOVINE”

Author: Ing. Mariana del Rocío Cajas Naranjo

Directed by: Ing. Marcos Antonio Barros Rodríguez, Ph.D

Date: october 12, 2015

SUMMARY

The aim of this research was evaluate the effect of the nutritional value of *Chenopodium quinoa* on *in vitro* ruminal fermentation and rumen protozoa population in cattle. A bull provided with a rumen cannula was used. Quinoa seed (SQ), whole plant quinoa (PEQ) and stubble quinoa (RQ), (variety Tunkahuan): The following treatments were evaluated: Secondary compounds, *in situ* rumen degradation of dry matter (DM), *in vitro* digestibility (IVDMD), *in vitro* gas production (IVPG), rumen protozoa populations. The following response variables were analyzed. Phytochemical screening results show low concentration of saponins for SQ and PEQ. Substantial presence of alkaloids for SQ and PEQ. higher ($P<0.05$) IVDMD and lower IVPG was observed in SQ (80.6% and 280.98 ml of gas/0.5mg fermentable DM respectively). Regarding *in situ* rumen degradation the higher ($P<0.05$) percentage was observed in SQ and PEQ (97.7 and 80.8 respectively). Holotrichs protozoa population from 24 hours reduced to 0 in all treatments, with respect to the population of Entodiniomorfos from 24 hours difference ($P=0.0001$) was observed between treatments and lower population in PEQ. It can be concluded that SQ and PEQ could be included in cattle feed as it improves rumen fermentation parameters and reduces the gas production.

Descriptors: Secondary compounds, *in situ* rumen degradation, apparent digestibility, *in vitro* gas production, protozoa, quinoa.

INTRODUCCIÓN

Las acciones que emprende la humanidad para cumplir con la demanda alimentaria ha hecho que se desarrolle la ganadería y agricultura a gran escala, con tecnologías no siempre amigables con el ambiente por la contaminación que causan los gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico (CH_4 , CO_2 , N_2O) a la atmosfera. La FAO menciona que la actividad ganadera genera aproximadamente 7.1 gigatoneladas de dióxido de carbono al año, 14.5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) inducidas por la actividad humana. En América Latina y el Caribe se presenta la mayor proporción de emisiones de GEI por actividades pecuarias, aproximadamente 1.3 gigatoneladas anuales, lo que se traduce en un 18.3% de las emisiones mundiales (Armando, J. *et al.*, 2012).

Este grado de contaminación principalmente se atribuye a la producción especializada de carne de bovino y el cambio de uso de suelo, reducción de la superficie forestal para el establecimiento de pastizales y tierras agrícolas para producción de forrajes (FAO. 2006), es una realidad que en nuestro país pocas son las granjas de producción bovina que poseen tecnologías de bajo impacto ecológico, siendo la producción ganadera familiar y de pequeños productores lo más frecuente, basada en el pastoreo con plantas y desechos agrícolas de bajo contenido nutricional.

Es importante tener en cuenta que más del 60 % del total de la energía requerida por el rumiante para mantenimiento y producción es generada a nivel ruminal, y que entre el 70 y 80 % del total de proteína útil para el crecimiento y producción es sintetizada en el rumen por los microorganismos. Esto indica claramente la importancia del rumen en la alimentación de los vacunos en pastoreo (Santini y Elizalde 1994).

El sistema digestivo de los bovinos produce un líquido ruminal que cuenta con una población alta de microorganismos aproximadamente un 4% del volumen total corresponde a volumen microbiano, donde las bacterias constituyen la mitad de la biomasa, los hongos constituyen hasta el 8% de la biomasa intra ruminal, los protozoarios entre un 20-40 % de la biomasa (Araujo F. 2007), estos microorganismos del rumen producen metano durante la fermentación anaeróbica de carbohidratos solubles y estructurales principalmente, aspecto negativo que afecta al animal y al medio ambiente (Carmona *et al.*, 2005).

El metano (CH_4) es un producto final de la fermentación que sufren los alimentos en el rumen (Bonilla *et al*, 2012) por esto el reto de los investigadores de enfocarse en la relación alimentación - producción de GEI en los rumiantes, que está influenciada por factores como consumo de alimento, composición de la dieta, digestibilidad del alimento, procesamiento previo del alimento, con el propósito de mitigar los GEI en bovinos, se presentan algunas alternativas como la utilización de plantas que contienen metabolitos secundarios que ayudan mejorar las características fermentativas a nivel ruminal y a la reducción de protozoarios uno de los causantes de la producción de gas metano (Barros-Rodríguez, M.A. *et al.*, 2014).

Por ello, este estudio está dirigido a la utilización de quinoa que se ha convertido en un cultivo importante a nivel mundial por su contenido nutricional, con una amplia variabilidad genética y una alta capacidad adaptativa a diferentes condiciones agro-climáticas y en vista que en nuestro país los sub productos de la cosecha no es utilizado se pretende presentarlo como alternativa de alimentación bovina para la reducción de gases y protozoarios, que conlleve al aumento de la productividad animal y minimizar la contaminación ambiental.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. TEMA

“Efecto del valor nutrimental de *Chenopodium quinoa* sobre la fermentación ruminal *in vitro* y población de protozoarios del rumen en bovinos”

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Contextualización

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la actividad ganadera genera aproximadamente 7.1 gigatoneladas de dióxido de carbono al año, 14.5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) inducidas por la actividad humana. Las principales fuentes de emisión de GEI del sector son la fermentación entérica o producción de metano por el proceso digestivo de los rumiantes.

Cerca de 500 millones de toneladas métricas/año de metano ingresan a la atmósfera debido a actividades antropogénicas y fenómenos naturales. A esta tasa se espera que el metano cause cerca del 15-17% del calentamiento global (Carmona *et al.*, 2005), señala que las emisiones de gas metano por el ganado bovino, están estimadas en 58 millones de toneladas/ año, lo que representa el 73% del total de emisiones (80 millones) de todas la especies domésticas. Estudios indican que los animales domésticos, principalmente el ganado bovino son responsables de aproximadamente el 15% de la producción de metano global (McCaughey *et al* y Moss *et al.*, 1999).

Estudios muestran que la tasa de emisión de GEI por fermentación ruminal, está relacionada con las características físico-químicas de la dieta, las cuales afectan el nivel de consumo y la frecuencia de alimentación, esto se evidencia en la producción de GEI ruminal que representa una pérdida de 2-12% de la energía de alimentación en los rumiantes en zonas templadas, que potencialmente puede generar ganancia de peso. (Carmona, J. C. *et al.*, 2005).

Según el INEC (2015), en Ecuador, actualmente hay 5,3 millones de cabezas de ganado bovino, en Tungurahua el ganado vacuno lidera el sector pecuario, existiendo el 2,9% del total nacional. Aguayo, H. X. (2015) manifiesta que la producción ganadera ecuatoriana se desarrolla en condiciones muy heterogéneas desde el punto de vista tecnológico, agroecológico y socioeconómico, distinguiéndose cuatro sistemas productivos: el especializado, el semi-especializado, el de doble propósito y el familiar.

La ganadería en un alto porcentaje, no es una actividad empresarial, solo una pequeña porción de productores lo desarrollan como una actividad propiamente empresarial. La ganadería es un modo de sobrevivencia de la familia campesina, del pequeño y mediano productor, y esa es la razón por la que la ganadería continua existiendo.

En la provincia de Tungurahua se desarrollan actividades productivas: agrícolas y pecuarias donde se producen grandes cantidades de residuos y rastrojos que son desaprovechados, estos pueden ser utilizados para la alimentación de los animales, dependiendo de su contenido nutricional es necesario enriquecerlos con otros subproductos para obtener mejores ganancias de peso y una mayor cantidad de alimento para las épocas de sequía, también considerarse como una alternativa de manipulación de la fermentación ruminal para disminuir los gases de efecto invernadero.

Una política del estado es impulsar cultivos andinos, el MAGAP está fomentando extensivamente el cultivo de quinoa, por eso hay disponibilidad de grano, rastrojo y la planta entera de la quinoa que se presenta como una alternativa para mejorar la nutrición de rumiantes ya que posee compuestos secundarios (taninos y saponinas) y buenas características de digestibilidad, que puede ayudar a reducir gases de fermentación ruminal.

1.2.2. Análisis crítico

Los rumiantes se han constituido en una fuente de grandes cantidades de GEI liberados a la atmosfera, la producción de estos gases en los rumiantes está influenciada por factores como consumo de alimento, composición de la dieta, digestibilidad del alimento, procesamiento previo del alimento y alternativas existentes para su mitigación.

La falta de conocimiento de los productores de bovinos sobre la responsabilidad de la ganadería en la producción de gas metano contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global. Además del manejo inadecuado de las

dietas alimenticias que se refleja en ganancias bajas de peso, por el desperdicio de alimentos en la pérdida de energía animal para la producción de gas metano que se refleja en una baja productividad. El desconocimiento de la utilización de residuos y rastrojos de cosechas en la alimentación de bovinos hace que se pierda recursos valiosos que pueden contribuir a lograr alternativas alimenticias de bajo costo.

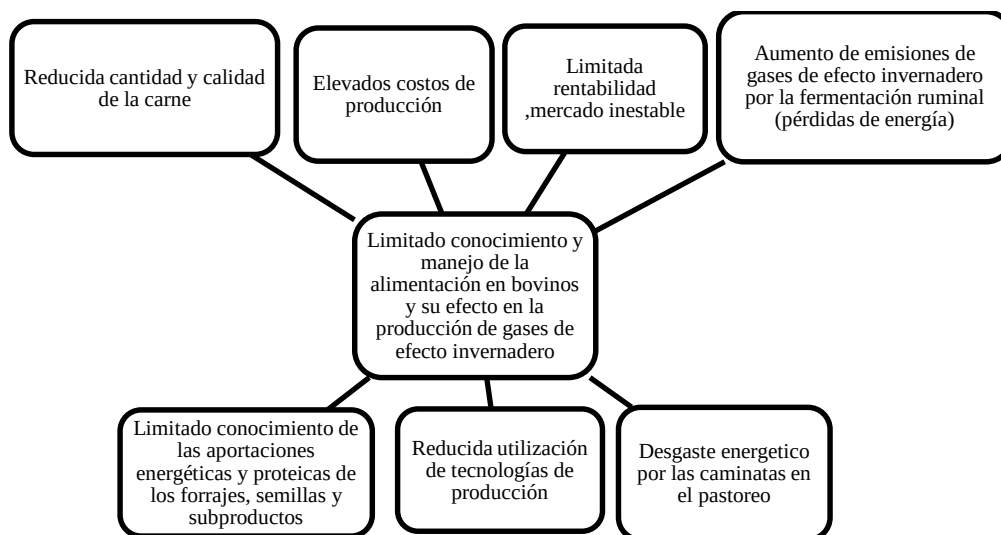


Gráfico 1. Árbol de problema

El manejo de la alimentación de los bovinos de los pequeños productores ganaderos está basado principalmente en el consumo de pastos pobres en nutrientes y altos en fibra sobre grandes extensiones de terreno, lo que limita el despegue de la producción de bovinos en nuestro país.

1.2.3. Prognosis

El manejo de la alimentación de los bovinos será eficiente con la utilización de mejores pasturas y otros productos en proporciones adecuadas, para satisfacer las necesidades nutricionales de los animales considerando las etapas fisiológicas y el propósito (carne, leche), la producción bovina en nuestro país despegaría teniendo acceso a información técnica y apoyo de organizaciones gubernamentales para la implementación de tecnologías. Alternativas como la utilización de plantas que ayuden a mejorar la fermentación ruminal y por ende la reducción de gases de efecto invernadero, podrían contribuir al desarrollo de la ganadería favorablemente en el enfoque sostenible y sustentable.

1.2.4. Formulación del problema

¿Cómo influye la estrategia de manipulación de las funciones del rumen utilizando productos y subproductos agrícolas, en una baja respuesta productiva de los animales, así como en el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero?

1.2.5. Preguntas directrices

¿Cómo influye el conocimiento del valor nutrimental de los productos y subproductos agrícolas en los rendimientos productivos en los bovinos?

¿Qué alternativas se pueden utilizar para enriquecer las pasturas pobres nutricionalmente que influyen en el bajo peso y mala calidad de carne y leche?

¿Cuál sería una propuesta técnica para reducir el desgaste de energía en el pastoreo?

¿Qué alternativas podrían proponer el estado y los productores para mejorar la comercialización?

1.2.6. Delimitación del objeto de investigación

Campo: Agroecología y Ambiente

Área: Ambiental, Agropecuaria, Socio-económica.

Aspecto: Utilización de toda la planta de quínoa para la incidencia de protozoarios y producción de gas *in vitro* en ovinos.

Temporal: Tiempo investigación de enero a septiembre del año 2015.

Espacial: Provincia de Tungurahua, Cantón Cevallos, Parroquia Cevallos, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La contaminación ambiental es un tema de importancia global, al respecto la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), informa que la actividad ganadera genera aproximadamente 7.1 gigatoneladas de dióxido de carbono al año, 14.5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) inducidas por la actividad humana.

Desde la perspectiva económica, las emisiones de óxido nitroso, metano y dióxido de carbono del sector son pérdidas de nitrógeno, energía y materia orgánica del suelo, es

decir, reflejan una menor eficiencia de los alimentos y mayores costos de producción. De acuerdo con la FAO, existe una relación entre el aumento de la productividad (eficiencia en la utilización de la energía) en la producción de rumiantes y la reducción de emisiones de GEI.

La ganadería bovina en nuestro país se desarrolla bajo parámetros de menor productividad, dado el uso de alimentos de bajo aporte nutricional o difíciles de digerir. Es decir, con mayor fermentación entérica y producción de estiércol, así como bajo desarrollo de peso por año y mayor edad de sacrificio en los animales, lo que es mayor periodo de vida y producción de GEI por unidad animal.

Los rumiantes pueden utilizar una gran variedad de fuentes de alimentos comparados con los no rumiantes, los microorganismos del retículo-rumen permiten a los rumiantes convertir los alimentos fibrosos (forrajes, residuos de cultivos y agroindustria) y el nitrógeno no-proteico (amoníaco, urea) en alimentos altamente nutritivos para los seres humanos (carne, leche).

El metabolismo del rumiante está enfocado a aprovechar los productos de la fermentación microbiana como los ácidos grasos volátiles(AGV), sin embargo, no todos los productos de la fermentación microbiana son útiles para el rumiante, también los hay negativos como el metano, el amoníaco y los nitratos. Entre las estrategias citadas por la FAO, para reducir la emisión de GEI en la actividad ganadera destacan el mejorar la calidad de la alimentación, forrajes menos fibrosos y fórmulas balanceadas, permitiendo mejorar la digestión y aprovechamiento de los nutrientes por parte de los animales, reduciendo la generación de metano a través de una menor fermentación entérica y producción de estiércol. Adicionalmente, mejorar la nutrición animal permite elevar la productividad de leche por vientre, incrementar el peso de los animales en menos tiempo y reducir la mortalidad del ganado.

Con base en lo anterior, esta investigación buscamos determinar el efecto nutrimental de quinoa sobre las funciones del rumen *in vivo*, población de protozoarios y producción de gas *in vitro*, utilizando semillas, planta y el rastrojo de quinoa. En vista de la importancia que está tomando este cultivo en nuestro país y que en su industrialización se produce gran cantidad de desechos, podrían ser incluidos en la dieta de los bovinos por su contenido nutricional y contenido de metabolitos secundarios (taninos y saponinas) con lo cual se

podría mejorar la digestibilidad de los nutrientes y la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

Los resultados de la presente investigación servirán a los productores de la zona y la provincia, para integrar la quinoa como alternativa en la alimentación de bovinos, enfocados hacia una producción sostenible, económicamente sustentable y amigable con el ambiente.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de *Chenopodium quinoa* sobre la fermentación ruminal *in vitro* y población de protozoarios del rumen en bovinos.

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar la degradación ruminal *in situ* de la MS, y digestibilidad aparente de la MS *in vitro*

Evaluar el efecto de las semillas, planta y rastrojo de quinoa sobre la población de protozoarios del rumen y producción de gas *in vitro*

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTE INVESTIGATIVOS

Estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), indica que la actividad ganadera genera aproximadamente 7.1 gigatoneladas de dióxido de carbono al año, 14.5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) inducidas por la actividad humana, de estos se estima que a nivel mundial los rumiantes producen 80 millones de toneladas de metano por año, lo que representa el 28% de las emisiones antropogénicas (Beauchemin *et al.*, 2008). Durante la última década se ha puesto especial atención en formular estrategias para mitigar los gases de efecto invernadero por los rumiantes, poniendo especial atención en la dieta alimenticia de los rumiantes (Barros-Rodríguez *et al.*, 2014).

La utilización de alimentos (pastos, forrajes, y granos) ricos en compuestos secundarios se presentan como una alternativa para mitigar los gases de efecto invernadero y disminuir las pérdidas de energía en los rumiantes (Cortés, J.E *et al.*, 2009; Animut *et al.*, 2008; Bhatta *et al.*, 2009). En investigaciones realizadas utilizando plantas ricas en taninos y saponinas se logró reducir de forma significativa los gases de efecto invernadero, además que se mejoró la utilización de la proteína (Barros-Rodríguez *et al.*, 2014).

En este sentido Gunjan *et al.* (2012) mencionan que el uso de las especies forrajeras que contienen compuestos secundarios como suplemento alimenticio para rumiantes en muchas partes del mundo está aumentando con el fin de mejorar el rendimiento de los animales y reducir las pérdidas de energía en forma de gases de efecto invernadero. Los taninos y saponinas constituyen las principales clases de compuestos secundarios que se encuentran actualmente bajo investigación en varios laboratorios. La acción y los efectos sobre la fermentación del rumen de estos compuestos antimicrobianos dependen de su naturaleza, la actividad y la concentración en una planta (Abdulrazak *et al.*, 2000).

Aguayo, H. (2015) en su análisis sobre la situación actual de la ganadería en el Ecuador, manifiesta que es la actividad productiva y de uso de la tierra que mayor territorio ocupa en el país, considerada como un renglón socioeconómico para el desarrollo del campo; ha sido

y es cuestionada fuertemente por su desempeño productivo e impacto ambiental (producción de GEI).

Nuestro país se encamina al cambio de la matriz productiva dando importancia a impulsar cultivos andinos que potencialmente pueden contribuir a la seguridad alimentaria y a la reactivación económica, basada en la utilización de tecnologías amigables con el ambiente.

En su estudio Repo-Carrasco *et al.* (2011) manifiestan que la quinua puede ser considerada un seudo cereal muy nutritivo cuando se compara con los cereales consumidos comúnmente como el trigo, la cebada y el maíz. Tiene un contenido relativamente alto de proteína de buena calidad y se puede considerar una buena fuente de fibra dietética y otros compuestos bioactivos, tales como compuestos fenólicos. Muñoz, J. (2013) manifiesta que las excepcionales cualidades nutricionales y adaptabilidad en los diferentes pisos ecológicos, hace de la quinua un alimento con gran potencial en la lucha contra el hambre y la desnutrición, tanto humana como animal. El año 2013 fue declarado como el año internacional de la quinua para que se impulse su cultivo e investigación en muchos países.

El principal objetivo del cultivo de quinua es la producción de grano para la alimentación humana, también se ha considerado que tanto los granos de segunda clase como los subproductos de la cosecha pueden ser empleados en la alimentación de monogástricos, y rumiantes, en condiciones especiales (Bazile, D. *et al.*, 2014).

2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

La presente investigación se fundamenta en el paradigma crítico propositivo que juzga como válidos los hechos que pueden ser captados por los sentidos y sometidos a verificación cuantitativa. Busca promover la participación activa de la comunidad, tanto en el estudio y la comprensión de los problemas, como en la planeación de propuestas de acción, su ejecución, la evaluación de los resultados, la reflexión y la sistematización del proceso seguido.

Basado en este paradigma la metodología propuesta en este proyecto tiene como finalidad presentar alternativas, con el compromiso de todo los sujetos involucrados, siguiendo un procedimiento metodológico y sistemático, insertado en una estrategia de acción definida donde se produzca conocimientos con la finalidad de ayudar a un mejor vivir.

2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

Las normas legales a las cuales se registrará el presente Estudio serán las siguientes:

Constitución Política de la República del Ecuador, Registro Oficial 449, del 20 de octubre del 2008. En el Título VI Régimen de Desarrollo, Capítulo Tercero Soberanía Alimentaria

Art. 281.- La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente.

Para ello, será responsabilidad del Estado:

1. Impulsar la producción, transformación agroalimentaria y pesquera de las pequeñas y medianas unidades de producción, comunitarias y de la economía social y solidaria.

3. Fortalecer la diversificación y la introducción de tecnologías ecológicas y orgánicas en la producción agropecuaria.

6. Promover la preservación y recuperación de la agrobiodiversidad y de los saberes ancestrales vinculados a ella; así como el uso, la conservación e intercambio libre de semillas.

7. Precautelar que los animales destinados a la alimentación humana estén sanos y sean criados en un entorno saludable.

8. Asegurar el desarrollo de la investigación científica y de la innovación tecnológica apropiada para garantizar la soberanía alimentaria.

Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria, S RO N° 583, 5 de mayo de 2009, en el Título I Principios Generales.

Artículo 2. Carácter y ámbito de aplicación.- Las disposiciones de esta Ley son de orden público, interés social y carácter integral e intersectorial. Regularán el ejercicio de los derechos del buen vivir -sumak kawsay- concernientes a la soberanía alimentaria, en sus múltiples dimensiones.

Su ámbito comprende los factores de la producción agroalimentaria; la agrobiodiversidad y semillas; la investigación y diálogo de saberes; la producción, transformación, conservación, almacenamiento, intercambio, comercialización y consumo; así como la sanidad, calidad, inocuidad y nutrición; la participación social; el ordenamiento territorial; la frontera agrícola; los recursos hídricos; el desarrollo rural y agroalimentario; la agroindustria, empleo rural y agrícola; las formas asociativas y comunitarias de los microempresarios, microempresa o micro, pequeños y medianos productores, las formas de financiamiento; y, aquéllas que defina el régimen de soberanía alimentaria. Las normas y políticas que emanen de esta Ley garantizarán el respeto irrestricto a los derechos de la naturaleza y el manejo de los recursos naturales, en concordancia con los principios de sostenibilidad ambiental y las buenas prácticas de producción.

2.4. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

2.4.1. Gases de efecto invernadero

La comunidad científica considera que el incremento de la concentración de gases efecto invernadero en la atmósfera terrestre está provocando alteraciones en el clima. La respuesta formal más importante a nivel mundial ha sido el Protocolo de Kioto, el cual se aplica a las emisiones de seis gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbono (HFC), hidrocarburo perfluorado (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6).

De acuerdo con la FAO, la actividad ganadera genera aproximadamente 7.1 gigatoneladas de dióxido de carbono al año, 14.5% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) inducidas por la actividad humana. La producción de carne y leche de bovino aportan 64.8% de las emisiones de GEI del sector.

Las principales fuentes de emisión de GEI del sector son la fermentación entérica o producción de metano por el proceso digestivo de los rumiantes, aproximadamente 46% de las emisiones provienen de la producción de leche y 43% de la producción de carne de bovino (Matthews, C. 2006).

2.4.2. Responsabilidad de la ganadería

La ganadería es responsable del 18% de las emisiones mundiales de GEI, de acuerdo con un informe de la FAO sobre el impacto ambiental de esa actividad. Ya que un bovino

adulto (550 kg) puede producir de 180 a 400 litros de metano por día según el sistema de producción (Gráfico 2) (Johnson y Johnson, 1995).

El ganado es uno de los principales responsables de los graves problemas medioambientales de hoy en día. Como señal de prosperidad, cada año la humanidad consume más carne y productos lácteos. Está previsto que la producción mundial de carne se duplique desde los 229 millones de toneladas en 1999/2001 a 465 millones de toneladas en 2050, al tiempo que la producción lechera se incrementará en ese período de 580 a 1043 millones de toneladas (Matthews, C. 2006).

El sector pecuario crece más rápido en el mundo en comparación con otros sectores agrícolas. Es el medio de subsistencia para 1300 millones de personas y supone el 40% de la producción agrícola mundial. Para muchos campesinos pobres en los países en desarrollo, el ganado es también una fuente de energía como fuerza de tiro y una fuente esencial.

El informe de la FAO explica que la ganadería utiliza el 30 % de la superficie terrestre del planeta, su mayor parte son pastizales, pero que ocupa también un 33% de toda la superficie cultivable, destinada a producir forraje. La tala de bosques para crear pastos es una de las principales causas de la deforestación, en especial en Latinoamérica, donde por ejemplo el 70% de los bosques que han desaparecido en el Amazonas ha sido destinado a la explotación ganadera (pastizales).

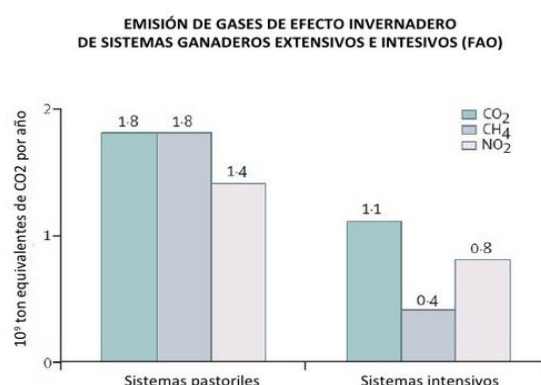


Gráfico 2: Emisión de GEI de sistemas ganaderos extensivos e intensivos, FAO (2009).

2.4.3. Fermentación ruminal

El rumen es el sitio donde se lleva a cabo la fermentación del alimento que es ingerido por el animal. Cabe señalar que el rumen no es un órgano glandular por lo que no secreta enzimas digestivas, de manera que la actividad digestiva depende de las enzimas producidas por las bacterias, protozoarios y hongos ruminales (Arelovich, 2008). La importancia de dichos microorganismos ruminales se puede argumentar en el hecho de que cada 15 kg de materia seca consumidos por el animal, 10 kg son degradados y fermentados por los microorganismos ruminales (Arelovich, H. 2008).

En los rumiantes, la presencia de bacterias, protozoarios y hongos le permite cubrir hasta el 100% de sus requerimientos energéticos a partir de carbohidratos estructurales como celulosa y hemicelulosa, al mismo tiempo que le permite utilizar fuentes de nitrógeno no protéinico (urea, amoníaco) para cubrir una parte de sus necesidades de proteína, además, lo hace independiente de una suplementación de vitaminas hidrosolubles para cubrir sus requerimientos (Arelovich, H. 2008).

2.4.4. Flora ruminal.

En el rumen y en el retículo se produce la fermentación de aproximadamente las dos terceras partes del alimento ingerido, debido a la acción de la flora microbiana (10^5 protozoos + 10^{10} bacterias por ml de líquido ruminal); existen más de 60 especies de bacterias y 30 de protozoos, siendo las principales bacterias monococos y bacilos, y los principales protozoos los ciliados.

Tabla 1: Clasificación de los principales protozoos ruminales con los substratos de fermentación preferentes (Hungate. 1966).

Subclase	Género	Substrato fermentado
Holotrica	Isotrica	Almidón y azúcares
	Dasytrica	Almidón y azúcares
Entodiniomorfa	Entodinium	Almidón
	Epidinium	Almidón y hemicelulosa
	Ophryoscolex	Almidón
	Diplodinium	Celulosa
	Eudiplodinium	Celulosa
	Polyplastron	Celulosa

2.4.4.1. La actividad de la flora ruminal.

Las bacterias ruminales tienen la capacidad de producir enzimas que liberan en el rumen; además de producir amilasas y proteasas, aunque no lipasas, también producen celulasas que hidrolizan los enlaces β de la fibra. Las condiciones del rumen son anaerobias, siendo agua el 90% del contenido ruminal; la temperatura es de 40 °C y el pH 5.5-6.5. El alimento permanece 0.5-2 días en el rumen, dependiendo de su contenido en fibra.

La flora ruminal fermenta el alimento para obtener la energía que necesita para su propio mantenimiento y crecimiento (cuando se habla de fermentación ruminal se incluye también la fermentación en el retículo). En efecto, mientras que en los animales monogástricos los productos de la hidrólisis enzimática son directamente absorbidos por el epitelio intestinal, en los rumiantes los productos de la hidrólisis enzimática que ocurre en el rumen (las enzimas son producidas por las bacterias, en el rumen no hay glándulas) son ingeridos por los microorganismos ruminales; por este motivo se dice que alimentar rumiantes significa de algún modo alimentar la flora ruminal (ULPGC, 2015).

2.4.5. Subproductos de la fermentación ruminal

Los microorganismos del rumen excretan como subproducto al medio ruminal una mezcla de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico, láctico), anhídrido carbónico, metano, amoníaco y calor. La mayor parte del CO_2 y NH_3 es ingerido por la flora ruminal para formar metano y proteína microbiana, respectivamente; los gases (CO_2 y NH_3) no utilizados por los microorganismos y los ácidos grasos volátiles son absorbidos por el epitelio ruminal; el CH_4 es eructado (ULPGC, 2015).

2.4.5.1. Producción de metano en los rumiantes

La emisión de metano entérico de origen antropogénico representa un 30% y un 50% de las provenientes del sector agrícola (Solomon et al., 2007). El metano es un gas de efecto invernadero (GEI) con 23 veces mayor potencial de calentamiento global que el dióxido de carbono y un tiempo de vida media de 10 años en la atmósfera (Solomon *et al.*, 2007). La producción de metano entérico constituye una pérdida energética para el rumiante que representa entre el 2 y el 12% de la energía bruta consumida (Johnson y Johnson, 1995).

Es por esto, han propuesto que la disminución de las emisiones de metano entérico puede ser una estrategia el aumento de la productividad animal (al disminuir las pérdidas energéticas) disminuyendo al mismo tiempo el impacto ambiental (al disminuir las emisiones de metano a la atmósfera) (Neely *et al.*, 2009).

2.4.5.2. Producción de ácido AGV

La fermentación produce una serie de compuestos orgánicos entre los cuales los ácidos grasos volátiles AGV's son los más importantes. La constante de disociación (pKa) de estos AGV's es baja. Debemos señalar que el pKa de los ácidos acéticos, propiónico y butírico es mayor que la del ácido láctico, en condiciones de pH normal, todos ellos se encuentran disociados generalmente, por lo tanto se encuentran cediendo un protón al medio provocando una disminución del pH del líquido ruminal. Sauviant *et al.* (1999) demostraron la relación inversa entre la concentración de AGV's totales y el pH ruminal.

La producción de ácidos grasos volátiles (AGV) se relaciona con la producción de metano en el rumen y debe mantenerse el balance fermentativo en todo momento; debido a que el metano y el propionato sirven como captos del exceso de equivalentes reductores que se producen a nivel ruminal (Rodríguez y Llamas, 1990).

En dietas con alto contenido de forraje, el patrón de AGV en la fermentación ruminal fluctúa entre 65:25:10 a 70:20:10 (acetato: propionato: butirato, en porcentaje molar), por otra parte cuando la cantidad de concentrado en la ración se eleva por encima de 70%, las proporciones de AGV varían entre 45:40:15 a 50:40:10 (Shimada, 1991).

2.4.6. Estrategias para disminuir los gases de efecto invernadero

Según la FAO los GEI generados por la ganadería, pueden ser disminuidos mediante una producción más eficiente. Para hacer frente a esta situación, los investigadores recomiendan reducir las emisiones de metano provenientes del ganado vacuno mediante diversas estrategias que no impliquen grandes costos para los productores y cuya tecnología se encuentre disponible. Entre las estrategias se encuentra mejorar la nutrición, la reproducción y la genética, al igual que realizar un buen control de enfermedades para mejorar la eficiencia productiva.

Por otra parte, mantener al animal sano también beneficia la eficiencia; y utilizar mejoradores de la producción como taninos o ionóforos, no sólo es bueno para la actividad productiva sino que contribuye a disminuir las emisiones de los GEI (FAO, 2013).

2.4.6.1. Manejo de la Nutrición como estrategia para mitigar los GEI.

En cuanto la nutrición, estudios sugieren no sólo un aumento en la producción del forraje, sino también su mejor aprovechamiento ya que con un alimento de mejor calidad se produce mayor cantidad de carne y leche, y menos metano, el aumento de la digestibilidad del forraje y del consumo de forraje digestible reduce generalmente las emisiones de GEI provenientes de la fermentación ruminal (y del estiércol almacenado), cuando se miden en relación con la unidad de producto animal.

Un ensilaje eficiente mejora la calidad del forraje y reduce la intensidad de emisión de los GEI. La inclusión de alimentos concentrados en la dieta de los rumiantes seguramente disminuye las emisiones del CH₄ entérico por unidad de producto animal, especialmente cuando el consumo de materia seca sea por encima del 40 por ciento. En estas situaciones, el mejoramiento del valor nutricional de los forrajes de baja calidad en las dietas de los rumiantes puede tener un gran beneficio en la productividad del hato, a la vez que lo mantiene con una producción constante o menor de CH₄ (FAO, 2013).

2.4.7. Compuestos bioactivos de las plantas (CBAP) estudiados para mitigar los GEI

Se han realizado múltiples investigaciones a los compuestos secundarios de las plantas, específicamente taninos, saponinas, aceites esenciales y sus ingredientes activos, presentes en plantas que podrían formar parte de la dieta alimenticia de animales. Los taninos y las saponinas que han sido ampliamente estudiados muestran el potencial de mitigación más promisorio dentro de esta categoría. Los taníferos como suplementos alimenticios o como plantas taníferas han mostrado con frecuencia, aunque no siempre (Beauchemin *et al.*, 2007a) que tienen un potencial de hasta 20 por ciento para reducir las emisiones de CH₄ entérico (FAO, 2013).

Existen diferencias entre especies forrajeras en la emisión de metano que están asociadas a diferencias en las concentraciones de fibra, a variaciones en la tasa de paso y la presencia de metabolitos secundarios. Mayores concentraciones de fibra reducen las tasas de paso, el consumo de materia seca y aumenta la producción de metano por unidad de materia seca consumida. El efecto de la inclusión de leguminosas sobre la producción de metano es variable y está influenciado por la presencia de metabolitos secundarios como los taninos y saponinas (McSweeney *et al.*, 2001; Johnson *et al.*, 2007; Tiemann *et al.*, 2008; Hess *et al.*, 2008).

Se han observado diferencias entre leguminosas y su efecto sobre la producción de metano al asociarlas con algunos compuestos secundarios encontrados en ellas como son los taninos y las saponinas. La concentración y tipo de estos compuestos varía entre especies, procedencia, estado fisiológico de la planta, año y época de cosecha lo cual dificulta su estudio (McSweeney *et al.*, 2001; Johnson *et al.*, 2007; Tiemann *et al.*, 2008; Hess *et al.*, 2008).

2.4.7.1. Taninos y Saponinas

Los taninos son polifenoles capaces de ligarse a compuestos de la dieta (proteínas, carbohidratos) (Costés, *et al.*, 2009; Patra y Saxena, 2010; Jakmola *et al.*, 2010). Esto podría disminuir la degradabilidad de algunos nutrientes de la dieta, inhibir la actividad enzimática, disminuir las poblaciones de protozoarios o de bacterias celulolíticas y en consecuencia disminuir la producción de metano (McSweeney *et al.*, 2001; Tavendale *et al.*, 2005; Johnson *et al.*, 2007; Tiemann *et al.*, 2008; Hess *et al.*, 2008; Jakmola *et al.*, 2010). También mencionan que las saponinas son glucósidos de alto peso molecular que interactúan con el colesterol presente en la membrana de los protozoarios causando su lisis (Guo *et al.*, 2008; Patra y Saxena, 2010; Hess *et al.*, 2003).

2.4.7.2. Compuestos secundarios de la quinoa.

La quinoa posee una serie de compuestos secundarios como las saponinas, ácido oxálico, taninos, inhibidores de tripsina y ácido fítico según el cultivar. Las saponinas y el ácido fítico son compuestos de naturaleza muy tóxica incluso a concentraciones muy bajas. Los tratamientos tecnológicos a los que son sometidos los granos pueden reducir el porcentaje de estos compuestos. Por el ejemplo, un lavado previo con agua de los granos de quinoa permite retirar casi en su totalidad las saponinas. Las saponinas son un problema porque le dan un sabor amargo al producto. La quinoa se la puede clasificar de acuerdo al contenido de saponinas en: quinua libre (lavada), quinua dulce <0,06% de saponinas y quinua amarga >0,16% de saponinas (Terán, Vilcacundo *et al.* 2015).

2.4.8. Cultivo de Quinoa en el Ecuador

Es un cultivo autóctono de los Andes. En el país se lo siembra en la Sierra en especial en las provincias del Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Loja, teniendo un ciclo vegetativo entre los 5 a 8 meses dependiendo de las

numerosas variedades existentes entre las que se destacan la Tunkahuan, Ingapirca, (variedades dulces) Cochasqui, Imbaya, etc (Bazile, D., & Baudron, F. 2013). En el 2010 el MAGAP estimó que en el país se sembraba unas 2000 hectáreas de quinua, de las cuales, aproximadamente, el 70% están sembradas con la variedad INIAP Tunkahuan.

En el Ecuador el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow.) tiene un espacio productivo amplio pues el país posee características geográficas y climáticas adecuadas para su desarrollo, sembrándose por la mayoría de los agricultores de manera tradicional con sus prácticas ancestrales especialmente en hileras, como complemento al huerto familiar y en asocio con cultivos como el maíz, papa, habas, oca, mellocos. (Nieto, C.C, *et al.* 1992). Hay entidades como el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, MAGAP y algunas Universidades que vienen realizando investigaciones para una mayor tecnificación del cultivo y mejorar su productividad.

2.4.8.1. Contenido nutricional de la quinoa

La quinua tiene un excepcional valor nutritivo (Tabla 2), con proteínas de alto valor biológico y excelente balance de aminoácidos esenciales, ubicados en el endosperma o núcleo del grano, a diferencia de otros cereales que los tienen en el exosperma o cáscara, como el arroz o trigo. La quinua ofrece la mayor cantidad de aminoácidos esenciales que cualquiera de los más importantes cereales del mundo, destacando la lisina que es uno de los más escasos en los alimentos de origen vegetal y que está presente en el cerebro humano.

Tabla 2: Composición química de la quinoa (Jimenez y Gomez, 2005)	
COMPONENTES	QUINOA
Valor energético (cal)	376.0
Humedad (g)	10.1
Proteína (g)	11.5
Grasa (g)	8.2
Carbohidrato (g)	66.7
Fibra (g)	5.1
Ceniza (g)	3.5
Calcio (mg)	120.0
Fosforo (mg)	165.0
Hierro (mg)	-
Vitamina A (mg)	0.00
Tiamina (mg)	0.12
Riboflavina (mg)	0.14
Niacina (mg)	1.35
Ácido Ascórbico (mg)	-

2.4.8.2. La quinoa en la alimentación animal

La Quinoa (*Chenopodium quinoa*), además de ser un alimento altamente nutritivo para los seres humanos, también lo es para los animales, y de igual forma que para el consumo humano, las saponinas deben ser removidas del grano para su consumo como suplemento alimenticio de cerdos y aves; las hojas frescas y la broza de la cosecha son bastante apetecible para los ovinos, bovinos, auquénidos y caprinos.

Los desechos del beneficiado también poseen importantes contenidos nutricionales que no se pueden desperdiciar, pudiendo usarse en la alimentación de cuyes. Varias investigaciones se han realizado en este aspecto, es por ello que publicaremos paulatinamente algunas estas investigaciones referidas a la quinua en la dieta animal (Miranda, R. 2011).

2.4.9. Producción bovina del Ecuador

Según la última estadística del INEC (2015), en Ecuador actualmente hay 5,3 millones de cabezas de ganado bovino, en Tungurahua el ganado vacuno lidera el sector pecuario, existiendo el 2,9% del total nacional. La población bovina según el MAG-INEC para el 2000 se censó en 4'486.020 de esta cantidad el 66.7 % son hembras y el 33.2 % son machos. En la Sierra se encuentra la mayor población, esto es, 2.274.137 que representa el 50.6 %, en la costa 1.628.044 constituyéndose en el 36.2 %, la Región Insular y Amazónica 583.839 que constituye el 13% de la población bovina.

La producción, se estima que el 42,4% es ganado mestizo sin registro y el 1,42 mestizo con registro, especializándose para leche, el 54,14% ganado criollo, 0,81% ganado pura sangre de carne, el 0,87% ganado pura sangre de leche y el 0,35% de ganado pura sangre doble propósito. En este estudio se señala que la forma de manejo y cuidado del ganado bovino existen 192.809 UPAs que utilizan pastoreo, 236.865 que utilizan el sistema de sogueo y un total de 6294 con otros sistemas de manejo. En cuanto a la forma de alimentación, existen 406.896 UPAs que alimentan con pastos, 6.451 con ensilaje, 2.863 con heno, 4.265 con banano, 667 con balanceado, 15.826 con otros tipos de alimentación y en 224.302 UPAs utilizan sales minerales.

La producción ganadera en el Ecuador ha sido básicamente de carácter extensivo, es decir que el incremento de la producción se ha basado en la incorporación de más unidades de factor, principalmente pastizales y número de cabezas, más no en un mejoramiento de

los rendimientos por unidad de factor, lo cual se evidencia en los bajos rendimientos tanto en producción de leche como en carne. La superficie de pastos se ha incrementado en mayor proporción que la masa ganadera, justamente para compensar el bajo rendimiento de los pastizales. Un mejoramiento de los pastos provocará un aumento rápido de los niveles de productividad de la ganadería ecuatoriana.

En general, los pequeños y medianos productores que tienen propiedades entre 1 y 3 ha y 5 hasta 10 ha poseen ganado criollo con escasa tecnología; aquellos productores con considerable espacio y productores grandes que tienen más de 50 ha ya realizan una ganadería tecnificada y semitecnificada con procesos de mejoramiento genético, razas que están en función de sus características de adaptación tanto en la Costa u Oriente como en la Sierra (Ruben, H. 2003).

2.5. HIPÓTESIS

La utilización de quínoa en la alimentación de rumiantes puede mejorar las funciones del rumen, reducir la población de protozoarios ruminales y la producción de gases de efecto invernadero.

2.6. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

Variable independiente: La quinoa (diferentes partes de la planta)

Variables dependientes: Degradación ruminal *in situ* de la MS, digestibilidad aparente de la MS *in vitro*, población de protozoarios del rumen y producción de gas *in vitro*

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación es científica experimental, con una recolección y análisis de datos para probar la hipótesis, confiando en la medición numérica con su respectiva aplicación estadística.

La presente investigación se basó en dos niveles:

Investigación bibliográfica.- Tiene como finalidad ampliar y profundizar los conocimientos, las teorías y enfoques acerca del tema del proyecto basándose en documentos y publicaciones existentes, así como también compararlo con otras investigaciones.

Investigación de Campo.- La información que presenta la investigación de campo en el propio sitio es apreciable y fehaciente, mediante la utilización de animales canulados, y a su vez experimental porque se manejará diferentes tratamientos para ver su efecto sobre los parámetros de fermentación ruminal tanto in vivo como in vitro, esto permite el conocimiento más a fondo del investigador, puede manejar los datos con más seguridad, en diseños exploratorios, descriptivos y experimentales, creando una situación de control en la cual manipula sobre una o más variables dependientes (efectos).

3.2. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo experimental ya que evalúa el efecto de la ingestión de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las funciones del rumen, población de protozoarios y producción de gas in vitro.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Variable independiente: La quinoa (diferentes partes de la planta)

Tabla 3. Operacionalización de variable independiente.

CONTEXTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADOR	ÍNDICE
La quinoa es considerada un pseudo-cereal muy nutritivo de mucha importancia en la nutrición humana y animal, tiene un contenido relativamente alto de proteína de buena calidad y se puede considerar una buena fuente de fibra dietética y otros compuestos bioactivos, tales como compuestos fenólicos.	Semillas de quinoa	100 % Semillas de quinoa	Gramos
	Planta entera de quinoa	100% Planta entera de quinoa	Gramos
	Rastrojo de quinoa	100% Rastrojo de quinoa	Gramos

3.3.2. Variables dependientes: Degradación ruminal *in situ* de la MS, digestibilidad aparente de la MS *in vitro*, población de protozoarios del rumen y producción de gas *in vitro*

Tabla 4. Operacionalización de variables dependientes.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADOR	ÍNDICE
Las características de fermentación de los alimentos en el rumen pueden ser estudiadas por métodos <i>in situ</i> e <i>in vitro</i> . Dentro de las técnicas <i>in vitro</i> , se puede estimar la digestibilidad de la materia seca (MS). La técnica de la bolsa de nylon proporciona estimativas de la degradación de los constituyentes del alimento. La técnica de producción de gases permite determinar la degradación del alimento a través del volumen de gas	Degradación ruminal de la MS <i>in situ</i>	Cantidad de MS degradado	g/kg MS
	Producción de gas <i>in vitro</i>	Cantidad de gas producido	g/kg de MS fermentable
	Digestibilidad aparente de la MS <i>in vitro</i>	Cantidad de alimento digerido	g/kg MS
	Población de protozoarios del rumen	Cantidad de protozoarios	Log (10)

3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.4.1. Ubicación del ensayo

La presente investigación se desarrolló en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Técnica de Ambato, ubicada en el Cantón Cevallos, Provincia de Tungurahua, a 20 Km al sur de Ambato con una altitud de 2850 m.s.n.m. cuyas coordenadas geográficas son: 01° 22' 0.2" de latitud Sur y 78° 36' 22" de longitud Oeste.

3.4.2. Caracterización del lugar

Según la Estación Meteorológica de primer orden ubicada en la Granja Experimental Docente Querochaca, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, reporta las siguientes características agro-climáticas: Temperatura máx. 20° C, temperatura mín. 7° C, la temperatura ambiente promedio es de 15°C, tiene una pluviosidad de 517.8 mm media anual, la intensidad de las lluvias se presenta en septiembre, octubre y noviembre, clima: templado y seco. La investigación *in vitro* se realizó en el laboratorio de Química y la investigación *in situ* en el establo de la Facultad.

3.4.3. Metodología utilizada

- El contenido de metabolitos secundarios (alcaloides, saponinas, taninos y polifenoles), se determinó cualitativamente mediante un screening fitoquímico.
- Las pruebas de degradación ruminal *in situ* de la materia seca se estimó mediante la técnica de la bolsa de nylon descrita por Ørskov et al. (1980). Utilizando un toro con una fistula en el rumen, se incubó 5 bolsitas por cada tratamiento que contenían 3 g de muestra, se incubaron las bolsas, a los tiempos 0, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72 y 96 horas, se realizó el lavado de las bolsas, luego se secaron en una estufa a 60 °C hasta obtener peso constante y luego se registró los pesos para su análisis e interpretación.
- La digestibilidad aparente de la MS *in vitro*, se estimó de acuerdo a la metodología descrita por Theodorou et al. (1994). La cual consiste en colocar en frascos de vidrio de 100 ml, 60 ml de buffer a una concentración de (70:30 v/v) 70% de saliva artificial y 30% líquido ruminal. En cada frasco se incorporó 0.5 g de muestra a incubar (forrajes o tratamientos). Se filtró el contenido de los frascos a las 48 horas a través de papel filtro, seguido se procedió a secar en estufa a 60 °C para luego interpretar los resultados
- La producción de gas *in vitro*, se estimó de acuerdo a la metodología descrita por Theodorou et al. (1994), se utilizó frascos de vidrio de 100 ml donde se introdujo: 0.5 g de muestra (tratamientos), 42 ml de saliva (mezcla química artificial) y 18 ml de líquido ruminal de bovino, las lecturas de presión se tomaron a las 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36 y 48 horas por medio de un transductor de presión.
- Poblaciones de protozoarios ruminales *in vitro*, para su estimación, el medio de incubación se preparó según la metodología arriba descrita para producción gas, se

determinó la presencia de protozoarios de las clases: Holotrica y Entodiniomorfa, utilizando una cámara Fucsh-Rosenthal Chamber de acuerdo a la metodología descrita por Ogimoto y Imai (1981), cada 0, 12, 24, 36 y 48 horas.

3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.5.1. Factores de estudio

Degradación ruminal de la MS (g/kg MS) *in vivo*, digestibilidad aparente de la MS *in vitro* (g/kg MS), protozoarios del rumen ($\log_{10}$), producción de gas *in vitro* (ml gas/g de materia seca fermentable).

3.5.2. Tratamientos

Los tratamientos fueron:

- Semilla de quínoa (SQ) al 100%
- Planta entera de quínoa (PEQ) al 100%
- Rastrojo de quínoa (RQ) al 100%.

3.5.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y seis repeticiones para las pruebas *in vitro* y tres tratamientos y cinco repeticiones para las pruebas *in vivo*.

3.5.4. Análisis estadístico

Todas las variables a estudiar se procesaran utilizando el PROC GLM del SAS (2009), la comparación de medias mediante la prueba de Tukey. La degradación ruminal de la MS se analizará con el programa Graphpad Prism 6, Software, Inc. San Diego, CA, USA.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.1. Contenido nutrimental de quinoa (*Chenopodium quinoa*)

En la tabla 5 se muestra que las semillas de quinoa (SQ) y planta entera de quinoa (PEQ) tienen una leve presencia de saponinas y ausencia de este metabolito en el rastrojo de quinoa (RQ). Las SQ y PEQ muestran presencia cuantiosa de alcaloides y ausencia en el RQ. Con respecto a los taninos totales y polifenoles totales se observó ausencia de estos metabolitos en SQ, PEQ y RQ.

Tabla 5. Screening fitoquímico de la semilla de quinoa, planta entera de quinoa y rastrojo de quinoa

	Perfil cualitativo de metabolitos secundarios			
	Saponinas	Alcaloides	Taninos totales	Polifenoles totales
SQ	+	+++	-	-
PEQ	+	+++	-	-
RQ	-	-	-	-

SQ: semilla de quinoa, PEQ: planta entera de quinoa, RQ: rastrojo de quinoa
Presencia cuantiosa (+++), moderada (++), leve (+); ausencia (-)

El contenido de compuestos secundarios presentes en los sustratos evaluados se debe al mecanismo de defensa que tienen las plantas ricas en nutrientes ante los depredadores, ya que en plantas vasculares es evidente la presencia de metabolitos secundarios (Sepúlveda-Jiménez, Porta-Ducoin et al. 2004). La presencia de saponinas en los resultados del screening se dio debido a que el cultivar evaluado pertenece a la denominada quinua dulce (cultivar tunkahuan) que puede contener valores por debajo de 0.06% de saponinas mientras que la denominada quinua amarga puede tener más de 0.16% (Kumar, V., et al, 2010). Con respecto a los alcaloides, se encuentran en un rango de 5 a 10% en todas las plantas, en su mayoría son tóxicos, aunque se ha señalado que en concentraciones moderadas son beneficiosas para la nutrición de los rumiantes, ya que influye en el patrón de fermentación y en el incremento del flujo de nutrientes al tracto posterior, así como, una reducción del meteorismo, parásitos gastrointestinales y disminución de los gases de efecto invernadero (Rochfort et al., 2008). Algo observado en esta investigación (Tabla 7).

4.1.2. Digestibilidad *in vitro* de la MS, producción de gas *in vitro* y cinética de degradación ruminal *in situ*

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) mostró diferencia ($P=0.0001$) entre las muestras evaluadas, siendo la mayor digestibilidad para SQ (80.6%) y la menor para RQ (30.9%). La producción de gas *in vitro* fue menor en SQ (280.9 ml/0.5 g/MSF) y en PEQ (281.0 ml/0.5 g/MSF) mostrando diferencias ($P=0.0001$) con respecto al RQ (Tabla 6). En cuanto a la degradación ruminal de la MS, se observa que la fracción soluble (A) muestra diferencias ($P<0.05$) entre los tratamientos, siendo el mayor porcentaje para PEQ (58.3%). La fracción insoluble (B) pero potencialmente degradable muestra diferencias ($P<0.05$) entre tratamientos, con el mayor porcentaje de degradación para SQ (69.2%). La SQ mostró mayor (0.473%/h: $P<0.05$) tasa de degradación en porcentaje por hora (c) que los demás tratamientos (Tabla 6).

Tabla 6. Digestibilidad *in vitro* de la MS, Producción de gas *in vitro* y cinética de degradación ruminal *in situ* (g/kg MS, excepto donde se señala lo contrario)

Parámetros	Partes de planta de quínoa			ESM	P
	SQ	PEQ	RQ		
DIVMS	806.35a	583.22b	309.66c	22.440	0.0001
PGIV ml/0.5g MSF	280.98b	281.03b	378.99a	4.592	0.0001
Degradación ruminal de la materia seca					
T_0	624.7±19.86	478.7±9.49	175.7±13.22		
A	283.5±13.80b	452.0±21.37a	168.0±10.31b		<0.05
B	692.2±35.31a	356.6±20.11b	383.4±17.09b		<0.05
c	0.473±0.0486a	0.088±0.0091b	0.023±0.0031c		<0.05
A+B	977.7	808.6	551.4		
r^2	0.96	0.94	0.96		

^{abc} Medias con letras distintas entre filas difieren significativamente ($P<0.05$).

ESM: error estándar de la media.

SQ: semilla de quínoa, PEQ: planta entera de quínoa, RQ: rastrojo de quínoa

DIVMS: Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca

PGIV: Producción de gas *in vitro*, MSF: Materia Seca Fermentable

T_0 : tiempo cero (muestras lavadas en laboratorio). A: fracción soluble, B: fracción insoluble pero potencialmente degradable, c: tasa de degradación en porcentaje por hora, A+B: potencial de degradación.

La mayor digestibilidad, menor producción de gas *in vitro* así como los altos parámetros de degradación ruminal *in situ* de la MS en las SQ (Tabla 6). Se dio, debido posiblemente al bajo contenido de fibra y alto contenido de carbohidratos no estructurales (almidón) que posee (Arzapalo Quinto, Huamán Cóndor et al. 2015), lo cual aportar nutrientes a la flora ruminal (Cecconello et al. 2003). A medida que el sustrato se vuelve

más fibroso baja la calidad nutrimental del producto (Molina Botero, I. C., et al. 2013) como se lo observa para la PEQ y RQ en todas las variables estudiadas. En el caso de la producción de gas *in vitro* los valores más bajos los presentó SQ y PEQ influenciado posiblemente por otros factores como la presencia de los compuestos secundarios presentes (Tabla 5). Estos resultados son consistentes con un estudio realizado usando una combinación de broza (subproducto) de quínoa y heno de avena (5,6% PC y 63% FDN) que obtuvieron valores de digestibilidad de 64% para la MS y MO, 52% para PC y 60% para FDN (López, A., et al, 2000; Peiretti et al 2013).

4.1.3. Población de protozoarios ruminales

La población de protozoarios ruminales *in vitro* desde la hora 0 hasta la 12 no mostraron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos tanto en las poblaciones de holotricos y Entodiniomorfos. A la hora 12 los protozoarios Holotricos muestra diferencia entre tratamientos ($P>0.05$) siendo el tratamiento PEQ el de menor población de protozoarios con respecto a SQ y RQ. A partir de la hora 24 hasta la hora 48 los protozoarios Holotricos no mostraron diferencias ($P<0.05$) entre tratamientos. En la hora 24 en el SQ se redujo la población de protozoarios Entodiniomorfos mostrando diferencias ($P>0.05$) entre los demás tratamientos. En la hora 36 los protozoarios Entodiniomorfos no mostraron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos. A la hora 48 los protozoarios Entodiniomorfos se redujo su población en SQ y RQ mostrando diferencias ($P>0.05$) con PEQ (Tabla 7).

El tipo de dieta y el nivel energético y nitrogenado de la ración influyen en la concentración y composición de la fauna ruminal a través de la acción directa o indirecta sobre el pH y la tasa de pasaje del contenido ruminal (Franzolin, R. *et al.*, 1998). Un papel particularmente importante de los protozoarios, es su capacidad para frenar la digestión de los sustratos que se fermentan con rapidez, como el almidón y algunas proteínas. Esto es posible ya que los protozoarios engloban al almidón y a las proteínas almacenándolos y protegiéndolos de la acción bacteriana).

Tabla 7. Población de protozoarios ruminales a diferente horas de muestreo ($\log_{10}$)

Protozoarios	Partes de planta de quínoa			ESM	P
	SQ	PEQ	RQ		
Hora 0					
H	3.43a	3.25a	3.50 ^a	0.119	0.3399
E	4.52a	4.54a	4.80 ^a	0.104	0.1504
Hora 12					
H	0.00b	1.13a	0.00b	0.413	0.0156
E	4.50a	4.31a	4.21a	0.091	0.1045
Hora 24					
H	0.00a	0.00a	0.00a	0.000	<0.05
E	4.20a	4.02ab	3.81b	0.105	0.0558
Hora 36					
H	0.00a	0.00a	0.00a	0.000	<0.05
E	4.24a	3.81a	3.98a	0.149	0.1557
Hora 48					
H	0.00a	0.00a	0.00a	0.000	<0.05
E	4.02a	3.81b	4.20a	0.105	0.0480

^{ab} medias con letras distintas entre filas difieren significativamente ($P < 0.05$). ESM: error estándar de la media. H: Holotricos, E: Entodiniomorfos. SQ: semilla de quínoa, PEQ: planta entera de quínoa, RQ: rastrojo de quínoa

El empleo de plantas, árboles y arbustos de leguminosas, entre otras, puede ser capaz de cumplir el propósito de defaunación debido a la presencia de metabolitos secundarios, tales como taninos y saponinas (Galindo *et al.*, 2009). Esto conlleva a mencionar que la baja reducción de protozoarios de la subclase Entodiniomorfos se debe a que en esta investigación se utilizó una quínoa de variedad dulce “TUNKAHUAN”. En cuanto a los protozoarios de la subclase Holotrica que son más sensibles a partir de las 12 horas se redujo su población a 0 en todos los tratamientos, pudiendo relacionarlo con la información de que los metanógenos pueden vivir en el interior o adheridos a la superficie de los protozoos ciliados del rumen y, en esas condiciones, establecen relaciones de endosimbiosis y son responsables de más del 37 % de las emisiones de metano (Hegarty, 1999).

4.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

En la hipótesis que se planteó para investigación, la utilización de quínoa en la alimentación de rumiantes puede mejorar las funciones del rumen, reducir la población de protozoarios ruminales y la producción de gases de efecto invernadero.

Realizada la investigación se manifiesta que se ha verificado la hipótesis de manera positiva para los parámetros fermentativos del rumen. Sin, embargo, con la población de

protozoarios Entodiniomorfos nuestra hipótesis fue rechazada debido a que el cultivar de quínoa utilizado fue la denominada “quínoa dulce” carente de altas concentraciones de saponinas y taninos compuestos secundarios que actúan de manera directa contra estos protozoarios.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que: La variedad de quinoa dulce (tunkahuan) mostró no tener un efecto sobre la población de protozoarios Entodiniomorfos del rumen. Sin embargo, las semillas (SQ) y planta entera (PEQ) tienen altos parámetros de fermentación ruminal (degradabilidad y digestibilidad de la materia seca) y además reduce la producción de gas, lo cual ayuda a mejorar el rendimiento productivo de los bovinos.

7.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda incorporar quinoa en la dieta de los bovinos como alternativa para la alimentación, visto que tiene propiedades positivas en la función ruminal y producción de gases de efecto invernadero, con un enfoque sostenible, económicamente rentable y amigable con el ambiente, alternativa que podría contribuir además al mejoramiento de la ganadería de nuestro país.

CAPITULO VI

PROPUESTA

6.1. DATOS INFORMATIVOS

Tema: “EVALUACIÓN DE VARIEDADES DE *chenopodium quinoa*, DEGRADABILIDAD RUMINAL *in situ*, DIGESTIBILIDAD *in vitro* Y POBLACIÓN DE PROTOZOARIOS EN RUMIANTES”.

6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Los rumiantes pueden utilizar una gran variedad de fuentes de alimentos comparados con los no rumiantes, los microorganismos del retículo-rumen permiten a los rumiantes convertir los alimentos fibrosos (forrajes, residuos de cultivos y agroindustria) y el nitrógeno no-proteico (amoníaco, urea) en alimentos altamente nutritivos para los seres humanos (carne, leche). (Carmona, J. C. *et al*, 2005).

Una alternativa sostenible, económica y ecológica para los ganaderos y agricultores es la utilización de quinoa como parte de la dieta alimenticia de bovinos que contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) y al aprovechamiento de la energía animal.

En este estudio científico se determinará, la degradabilidad ruminal de MS *in situ*, digestibilidad *in vitro* de MS, MO, FND y FAD y población de protozoarios de tres variedades de quinoa (diferente contenido de saponinas).

Es muy escasa la información sobre la utilización de quinoa en la alimentación de rumiantes y sus efectos sobre la fermentación ruminal y producción de GEI.

6.3. JUSTIFICACIÓN

La ganadería en el Ecuador enfrenta numerosos problemas en cuanto a la alimentación de los rumiantes en sistemas extensivos debido a la presencia de pasturas de baja calidad nutritiva que conlleva a obtener rentabilidades negativas.

Al realizar este proyecto de investigación con la utilización de variedades de quinoa, se busca obtener alternativas que permitan aumentar la disponibilidad de alimento de calidad y de bajo costo. El mejoramiento de la dieta alimenticia se refleja en el normal desarrollo de la función ruminal y en la reducción de gases de efecto invernadero.

Tiene injerencia en el aspecto social que vendría a contribuir en la productividad de los ganaderos que se beneficiaran del proyecto en forma directa e indirecta a nivel nacional. Se justifica el uso de la quinoa ya que actualmente hay gran disponibilidad en el país y su contenido nutricional es beneficioso, se convertiría en una alternativa de bajo costo para el aumento de la productividad y de bajo impacto ecológico.

Se continua contaminando el ambiente debido al mal manejo de la alimentación de los rumiantes que afecta directamente a la fermentación ruminal, donde la población de microorganismos fermenta los carbohidratos para producir energía, gases (metano y dióxido de carbono), calor y los ácidos grasos volátiles (AGV), cuando hay desconocimiento de las necesidades alimenticias, se desperdicia recursos y se afecta al ambiente.

La misión de la Universidad Técnica de Ambato es: satisfacer la demanda, científico - tecnológicas de la sociedad ecuatoriana en interacción dinámica con sus actores.

6.4. OBJETIVOS

6.4.1. Objetivo general

Evaluar 3 variedades de *chenopodium quinoa*, degradabilidad ruminal in situ, digestibilidad in vitro y población de protozoarios en rumiantes.

6.4.2. Objetivos específicos

Determinar la degradabilidad ruminal de MS in situ y digestibilidad in vitro de MS, MO, FND y FAD en 3 variedades de *chenopodium quinoa*.

Evaluar el efecto de las 3 variedades de quinoa sobre la población de protozoarios del rumen y producción de gas in vitro.

6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Este proyecto es factible económica, social y ambientalmente, ya que se va a utilizar el rastrojo de 3 variedades quinoa, este recurso es desechado por los agricultores y presenta buenas propiedades nutrimentales para la alimentación de rumiantes y también se reduciría los costos de producción.

6.6. FUNDAMENTACIÓN

La demanda actual de alimentos obliga a los ganaderos producir más eficientemente para ser competitivos en el mercado mundial. Para lograr este objetivo, se diseñan alternativas que permitan mejorar la dieta alimenticia de los rumiantes enfocándose a que sean económicamente sustentable y ecológicamente sostenibles.

Existen evidencias de que *chenopodium quinoa* es una de las plantas que resulta promisoría para la alimentación de diferentes especies animales. En este contexto, la suplementación con plantas no convencionales forrajeras es de especial interés en la búsqueda de nuevas alternativas.

6.7. METODOLOGÍA

Digestibilidad aparente de la MS, MO, FND y FAD in vitro y Producción de gas in vitro; se estimará de acuerdo a la metodología descrita por Theodorou *et al.* (1994).

Degradabilidad de la MS, MO, FND y FAD, mediante el método de la bolsa de nylon (Ørskov *et al.* 1980) utilizando animales con fistulas en el rumen.

Poblaciones de protozoarios ruminales: utilizando una cámara Fucsh-Rosenthal Chamber de acuerdo a la metodología descrita por Ogimoto y Imai (1981).

6.8. ADMINISTRACIÓN

La administración de esta investigación estará a cargo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato.

6.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Se recomienda realizar la evaluación del proyecto para que los resultados sean confiables, y los mismos publicados en beneficio de los productores de nuestro país.

MATERIALES DE REFERENCIA

- Aguayo, H. X. 2015. Situación actual de la ganadería ecuatoriana y la propuesta de FEDEGAN para su sostenibilidad. Federación de Ganaderos del Ecuador. Disponible en: <http://fedegan.ec/situacion-actual-de-la-ganaderia-ecuatoriana-y-la-propuesta-de-fedegan-para-su-sostenibilidad/>
- Arelovich, H. M. (2013). Elementos minerales. Su impacto en la fermentación ruminal. Revista argentina de producción animal, 28(3), 235-253.
- Armando, J., Cardenas, B., & Flores, C. L. (2012). Enteric methane emission by ruminants and its contribution to global climate change. Review. REVISTA MEXICANA DE CIENCIAS PECUARIAS, 3(2), 215-246.
- Arzapalo Quinto, D., et al. (2015). "Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) negra collana, pasankalla roja y blanca junín." Revista de la Sociedad Química del Perú 81(1): 44-54.
- Barros-Rodríguez, M., Sandoval-Castro C.A., Solorio-Sánchez J., Sarmiento-Franco L.A., Rojas-Herrera R. y V. Klieve A. 2014. *Leucaena leucocephala* IN RUMINANT NUTRITION. 17: 173-183
- Barros-Rodríguez, M.A., Solorio-Sánchez, F.J., Sandoval-Castro, C.A., Ahmed, A. M. M., Rojas-Herrera R., Briceño-Poot E. G. and Ku-Vera J. C. 2014. Effect of intake of diets containing tannins and saponins on in vitro gas production and sheep performance. 54, 1486–1489
- Bazile, D. et al (Editores), 2014. “Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013”. FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia), 724 p.
- Bazile, D., & Baudron, F. (2013). Dinámica de expansión mundial del cultivo de la quinua respecto a su alta biodiversidad. Estado del arte de la quinua en el mundo en, 49-64.
- Beauchemin, K. A., Kreuzer, M., O'mara, F., & McAllister, T. A. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. Animal Production Science, 48(2), 21-27.
- Carmona, J. C., Bolívar, D. M., & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 18(1), 49-63.
- Cecconello G.C., Benezra, M.S. & Ovispo, N.E. Compocisión química y degradabilidad ruminal de los frutos de algunas especies forrajeras leñosas de un bosque seco tropical. Zootecnia Tropical. 21:149

- Del Ecuador, G. (2009). Ley orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria.
- Ecuador, A. C. (2008). Constitución del Ecuador. Montecristi, Manabí, Ecuador: Registro Oficial.
- Franzolin, R.; Tiegui, M.H. y Da Silva, J.R. Avaliação de população de protozoários ciliados no rúmen, retículo e omaso e do trato digestivo em búfalos alimentados em três níveis de energia. En: Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ). Vol. 15, No. 1 (1998); p. 58–63.
- Galindo, J., González, N., Sosa, A., Ruíz, T., Torres, V., Aldana, A., & Noda, A. (2011). Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones in vitro. Rev. Cubana Cienc. Agríc, 45, 33-37.
- García, D. E., & Medina, M. G. (2006). Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. Zootecnia Trop, 24(3), 233.
- Goel, G. & Makkar, H. P. S. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. Trop. Anim. Health Pro. 44 (4):729-739, 2012
- González Cáceres, M. Producción animal y ambiente. Mundo Pecuário, 10(3).
- Gunjan, G. y Makkar, H.P.S. 2012. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. Trop Anim Health Prod. 44:729–739
- Guo, Y.Q., Liu, J.X., Lu, Y., Zhu, W.Y., Denman, S.E. and McSweeney, C.S. 2008. Effect of tea saponin on methanogenesis, microbial community structure and expression of mcrA gene, in cultures of rumen micro-organisms. Lett Appl Microbiol, 47: 421-426
- Haro, R. (2003). Informe sobre Recursos Zoogenéticos Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Hegarty, R.S. 1999. Reducing rumen methane emissions through elimination of rumen protozoa. Aust. J. Agr. Res. 50:1321
- Hess, H.D., Mera, M.L., Tiemann, T.T., Lascano, C.E. and Kreuzer, M. 2008. In vitro assessment of the suitability of replacing the low-tannin legume *Vigna unguiculata* with the tanniniferous legumes *Leucaena leucocephala*, *Flemingia macrophylla* or *Calliandra calothyrsus* in a tropical grass diet. Anim Feed Sci Technol, 147:105-115.
- INEC. 2015. Encuesta de superficie y producción agropecuaria. Disponible en: www.ecuadorencifras.gob.ec/

- Johnson KA, Johnson DE. Methane emissions from cattle. *J Anim Sci*, 1995; 73: 2483-2492
- Kumar V, Sinha AK, Makkar HPS, Becker K. Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: a review. *Food Chemistry*, 120, 2010, 945-959.
- López, A., Morales, M. S., Cabrera, R., & Urrea, X. (2000). Ingestión y digestibilidad aparente de forrajes por la llama (*Lama glama*): I.-Heno de alfalfa (*Medicago sativa*) y paja de trigo (*Triticum Aestivum*) en diferentes proporciones. *Archivos de medicina veterinaria*, 32(2), 201-208.
- Matthews, C. (2006). La ganadería amenaza el medio ambiente. FAO. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/Newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>
- McCaughey W, Wittenberg K, Corrigan D. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Can J Anim Sci*, 1999; 79 (2): 221-226.
- McSweeney, C.S., Palmer, B., Bunch, R. and Krause, D.O. 2001. Effect of the tropical forage *Calliandra* on microbial protein synthesis and ecology in the rumen. *J Appl Microbiol*, 90: 78-88.
- Ministerio del Ambiente. 2012. Calidad del aire. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>
- Miranda, R. 2011. La quinua en la alimentación animal. Disponible en: <http://laquinua.blogspot.com/2011/04/la-quinua-en-la-alimentacion-animal.html>
- Molina Botero, I. C., Cantet, J. M., Montoya, S., Correa Londoño, G. A., & Barahona Rosales, R. (2013). Producción de metano in vitro de dos gramíneas tropicales solas y mezcladas con *Leucaena leucocephala* o *Gliricidia sepium*. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 8(2), 15-31.
- Muñoz Jáuregui, A. M. (2013). Año Internacional de la Quinua. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(1), 1-2.
- Neely, C., Bunning, S., & Wilkes, A. (2009). Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change. Rome: FAO.
- Nieto, C.C., Vimos, N.C., Monteros, J.C., Caicedo, V.C., Rivera, M.M. "INIAP-INGAPIRCA E INIAP-TUNKAHUAN Dos variedades de quinua de bajo contenido de saponinas" Boletín divulgativo. No 228. INIAP, Quito 1992 16p.
- Ramírez-Restrepo, C. A. & Barry, T. N. Alternative temperate forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants. *Anim. Feed Sci. Tech.* 120 (3-4):179-201, 2005.

- Repo-Carrasco-Valencia, R. A. M., & Serna, L. A. (2011). Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. *Food Science and Technology* (Campinas), 31(1), 225-230.
- Rochfort, S., Parker, A. J., & Dunshea, F. R. (2008). Plant bioactives for ruminant health and productivity. *Phytochemistry*, 69(2), 299-322.
- Rodríguez, G.F., Llamas, I.G. 1990. Digestibilidad, balance de nutrimentos y patrones de fermentación ruminal. In: R.A. Castellanos, L.G. Llamas y S. A. Shima, Eds. *Manual de técnicas de investigación en ruminología. Sistemas de Educación Continua en Producción Animal en México*, A.C. México, D.F. pp. 95-126.
- Santini, F., & Elizalde, I. (1994). Digestión Ruminal aspectos Conceptuales e Implicancias practicas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Balcarce. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar.
- Sepúlveda-Jiménez, G., et al. (2004). "La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas." *Rev Mex Fitopatol* 21: 355-363.
- Shimada, Y. A. 1991 Metabolismo de los carbohidratos. En: Pérez D.M. Ed. *Manual sobre ganado productor de leche*. Ed. Diana México. pp. 44-63.
- Terán, W. I. C., Vilcacundo, R., & Carpio, C. (2015). Compuestos bioactivos derivados de amaranto y quinua bioactive components derived from amaranth and quinoa. *Actualización en Nutrición*, 16(1), 18-22
- ULPGC. 2015. La degradación ruminal y la digestión de los alimentos. España. Disponible en: <http://www.webs.ulpgc.es/nutranim/tema22.htm#arriba>

ANEXOS

FOTOGRAFÍAS

Bolsas de nylon para la degradación ruminal *in situ*



Fistula en el rumen para introducir las bolsas de nylon



Llenado de frascos con líquido ruminal y solución tampón



Observación de protozoarios



Screening Fitoquímico



Resultados de las pruebas del Screening Fitoquímico

