

Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio en Ciencias Agropecuarias
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Maestría en Ciencias Agropecuarias



TESIS:

Composición nutricional y digestibilidad *in situ* del residuo industrial de té de jazmín

Que para obtener el grado de Maestro en Ciencias
Agropecuarias

PRESENTA:

M.V.Z. Fredy Vasquez Sarabia

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Horacio Dávila Ramos

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Juan Carlos Robles Estrada

Culiacán Rosales, Sinaloa, México; julio de 2022

**Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio en Ciencias Agropecuarias
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Maestría en Ciencias Agropecuarias**



TESIS:

**Composición nutricional y digestibilidad *in situ* del
residuo industrial de té de jazmín**

Que para obtener el grado de Maestro en Ciencias
Agropecuarias

PRESENTA:

M.V.Z. Fredy Vasquez Sarabia

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Horacio Dávila Ramos

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Juan Carlos Robles Estrada

ASESORES:

Dr. Jesús José Portillo Loera

Dr. José Adrián Félix Bernal

Dr. Jaime Noé Sánchez Pérez

Culiacán Rosales, Sinaloa, México; julio de 2022

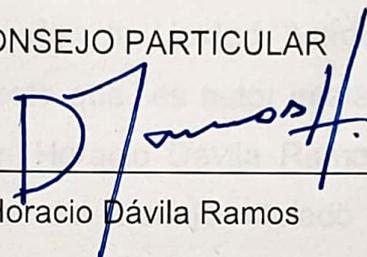
ESTA TESIS FUE REALIZADA POR FREDY VASQUEZ SARABIA, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

(SELLO DE POSGRADO)

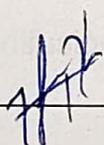
CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR



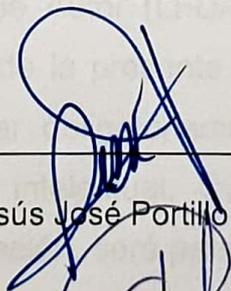
Dr. Horacio Dávila Ramos

CO-DIRECTOR



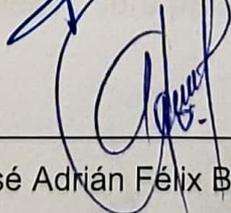
Dr. Juan Carlos Robles Estrada

ASESOR



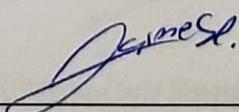
Dr. Jesús José Portillo Loera

ASESOR



Dr. José Adrián Félix Bernal

ASESOR



Dr. Jaime Noé Sánchez Pérez

CULIACÁN ROSALES, SINALOA, MÉXICO; JULIO DE 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Rosales el día 30 del mes junio del año 2022, el que suscribe Fredy Vasquez Sarabia alumno del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias con número de cuenta 1459594-1, de la Unidad Académica Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Horacio Dávila Ramos y Dr. Juan Carlos Robles Estrada y cede los derechos del trabajo titulado "Composición nutricional y digestibilidad *in situ* del residuo industrial de té de jazmín.", a la Universidad Autónoma de Sinaloa para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Fredy Vasquez Sarabia

Nombre completo y firma



REPOSITORIO INSTITUCIONAL

UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.





Informe del Detector de Plagio Viper

Fredy Vasquez Sarabia, 30-06-22.pdf escaneado Ju

Porcentaje Total

11%

1.0%

Evaluación de la digestibilidad in situ de los n...

<http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream>

0.7%

Residuos agroindustriales su impacto, manejo...

<https://core.ac.uk/download/230931013.pdf>

0.6%

Evaluation of tea and spent tea leaves as add...

<https://core.ac.uk/download/153779237.pdf>

0.6%

Población | Naciones Unidas - United Nations

<https://www.un.org/es/global-issues/population>

0.5%

Caracterización de los residuos sólidos de la ...

<https://biblat.unam.mx/hevila/Biotecnia/2019/vol21/n>

0.4%

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIF...
<https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20...>

0.4%

The application of forage densification technol...
<https://core.ac.uk/download/475593753.pdf>

0.3%

Degradabilidad ruminal in situ y digestibilidad ...
<http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2013/mayo/7.pdf>

0.3%

Subproductos agrícolas, una alter... preview &...
<https://www.mendeley.com/catalogue/94310a32-f96>

0.3%

Redalyc.Caracterización físico-química y funci...
<https://www.redalyc.org/pdf/339/33937066010.pdf>

0.3%

Caracterización química de panojas y vainas ...
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_artte

0.3%

TANNINIFEROUS FEED RESOURCES IN D...
<https://www.arccjournals.com/journal/agricultural-rev>

0.2%

Changes during ensilage in fermentation prod...
<https://okayama.pure.elsevier.com/en/publications/c>

DEDICATORIA

A mis abuelitos, Juana[†] y Fidel[†], los llevo en el corazón por siempre...

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I INTRODUCCIÓN.....	1
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Crecimiento demográfico.....	3
2.2 Importancia de la ganadería.....	3
2.3 Forraje en producción animal.....	4
2.4 Digestibilidad de los alimentos.....	5
2.5 Tipos de digestibilidad.....	6
2.5.1 Digestibilidad <i>in vivo</i>	6
2.5.2 Digestibilidad <i>in vitro</i>	6
2.5.3 Digestibilidad <i>in situ</i>	7
2.6 Características nutricionales de residuos provenientes de industria de los alimentos.....	7
2.7 Uso de residuos de té verde en animales monogástricos.....	14
2.8 Uso de residuos de té verde y forrajes en dietas de rumiantes y su digestibilidad.....	15
2.9 Origen y producción del té.....	17
2.10 Composición química de las hojas de <i>Camellia sinensis</i>	21
2.11 Procesamiento de las hojas de té.....	21
2.12 Té de jazmín.....	23
2.13 Impacto ambiental.....	24
III HIPÓTESIS.....	25
IV OBJETIVOS.....	26
4.1 Objetivo general.....	26

4.2	Objetivos específicos.....	26
V	MATERIAL Y MÉTODOS.....	27
5.1	Estrategia de la investigación.....	27
5.2	Lugar de investigación.....	27
5.3	Calendarización del muestreo.....	27
5.4	Recolección de muestras.....	28
5.5	Determinación de humedad.....	28
5.6	Determinación de cenizas.....	29
5.7	Determinación de extracto etéreo.....	30
5.8	Determinación de proteína cruda.....	31
5.9	Determinación de fibra cruda.....	32
5.10	Determinación de extracto libre de nitrógeno.....	33
5.11	Cálculo del total de nutrientes digestibles y energías netas..	33
5.12	Determinación de fibra detergente.....	34
5.12.1	Fibra detergente neutra (FDN).....	34
5.12.2	Fibra detergente ácida (FDA).....	37
5.13	Determinación de taninos.....	39
5.14	Digestibilidad <i>in situ</i>	41
5.15	Análisis estadístico.....	43
VI.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	44
VII.	CONCLUSIONES.....	50
VIII.	LITERATURA CITADA.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Cuadro 1. Composición nutricional en porcentaje de residuos sólidos orgánicos de tres tipos de cerveza artesanal clara, ámbar y oscura, en base seca.....	8
2	Cuadro 2. Composición nutricional (porcentaje en base seca) de orujo y pasta de olivo.....	9
3	Composición nutricional de orujos de uva de fermentación y sin fermentación, porcentaje en base seca	9
4	Composición químico proximal (porcentaje en base seca) de ensilado y secado de residuos de té verde (RTV).....	11
5	Mediciones <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i> de residuos de té verde (RTV) ensilados y secados y otros 2 forrajes.....	13
6	Porcentaje de digestibilidad de algunos nutrientes en dietas con diferente nivel de inclusión de residuos de té verde....	16
7	Composición nutricional de forrajes utilizados comúnmente en la alimentación de rumiantes y sus parámetros de digestibilidad <i>in situ</i>	17
8	Contenido de proteínas, azúcares, fibra, lípidos y vitaminas de las hojas de té (<i>Camellia sinensis</i>).....	21
9	Composición química de hojas de té verde, té negro y sus residuos té verde (RTV) y residuos de té negro (RTN) en porcentaje.....	23
10	Calendario de muestreo del residuo de té de jazmín.....	27
11	Dieta suministrada a los toros durante la prueba de digestibilidad <i>in situ</i>	42
12	Composición nutricional de residuos de té de jazmín, porcentaje en base seca.....	44
13	Digestibilidad <i>in situ</i> de materia seca (MS) y proteína cruda (PC) del residuo de té de jazmín y parámetros de degradación, n=6/tiempo (%)......	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Producción de té en el mundo (FAOSTAT, 2020).....	18
2	Distribución continental de la producción de té (FAOSTAT, 2020).....	18
3	Principales países productores de té en el mundo (FAOSTAT, 2020).....	19
4	Principales países exportadores de té (FAOSTAT, 2020)...	20
5	Principales países importadores de té en el mundo (FAOSTAT, 2020).....	20
6	Secuencias típicas de fabricación de té verde y negro.....	22
7	Degradación <i>in situ</i> de la materia seca.....	47

RESUMEN

Composición nutricional y digestibilidad *in situ* del residuo industrial de té de jazmín

Fredy Vasquez Sarabia

Con el objetivo de determinar la composición nutricional y digestibilidad *in situ* del residuo industrial de té de jazmín, se realizó una investigación en dos etapas, 1) Se caracterizó el análisis químico proximal del residuo de té, se calculó el valor de humedad, cenizas, extracto etéreo, proteína cruda, fibra cruda, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida de 6 muestras diferentes por triplicado, para calcular el total de nutrientes digestibles, energía digestible, energía metabolizable, energía neta de mantenimiento y energía neta de ganancia. Se determinó la cantidad de taninos condensados e hidrolizables. 2) Se determinó la digestibilidad *in situ* y cinética de degradación del residuo de té de jazmín, durante la hora 0, 3, 6, 12, 18, 24, 36, 48, y 72. Se observó 80.22 % para humedad, cenizas 5.34 %, extracto etéreo 2.42 %, proteína cruda 20.19 %, fibra cruda 30.5 %, fibra detergente neutra 65.61 %, fibra detergente ácida 49.01 %, total de nutrientes digestibles 56.54 %, energía digestible 2.49 Mcal/kg, energía metabolizable 2.04 Mcal/kg, energía neta de mantenimiento 1.19 Mcal/kg, energía neta de ganancia 0.74 Mcal/kg, taninos condensados 0.15 %, taninos hidrolizables 0.32 %, la digestibilidad de la materia seca tuvo un valor de 50.63 % degradación a la hora 72, mientras que la proteína cruda mostró degradación de 17.5 %, los parámetros de cinética de degradación para la materia seca fueron $a=4.73$, $b=48.66$ y $c=0.05$. Se concluye, con base a la composición nutricional, que el residuo de té de jazmín es una opción viable como fuente de fibra en la dieta de rumiantes, se recomienda profundizar en los trabajos de digestibilidad post-rumen para realizar una propuesta para su uso en la alimentación de rumiantes.

Palabras claves: Composición química, digestibilidad *in situ*, residuo de té, desecho.

ABSTRACT

Nutritional composition and *in situ* digestibility of industrial jasmine tea residue

Fredy Vasquez Sarabia

The objective was to determine the nutritional composition and *in situ* digestibility of the industrial residue of jasmine tea, a two-stage investigation was carried out, 1) The proximal chemical analysis of the tea residue, moisture value, ash, ether extract, crude protein, crude fiber, neutral detergent fiber, acid detergent fiber from 6 different samples in triplicate, to calculate total digestible nutrients, digestible energy, metabolizable energy, net energy for maintenance, and net energy for gain. The amount of condensed and hydrolysable tannins was determined. 2) *In situ* digestibility and degradation kinetics of the jasmine tea residue were determined during hours 0, 3, 6, 12, 18, 24, 36, 48 and 72. The results were the following 80.22 % for moisture, ash 5.34 % , ether extract 2.42 %, crude protein 20.19 %, crude fiber 30.5 %, neutral detergent fiber 65.61 %, acid detergent fiber 49.01 %, total digestible nutrients 56.54 %, digestible energy 2, 49 Mcal/kg, metabolizable energy 2.04 Mcal/kg, net energy for maintenance 1.19 Mcal/kg, net energy for gain 0.74 Mcal/kg, condensed tannins 0.15 %, hydrolysable tannins 0.32 %, dry matter digestibility had a value of 50.63% degradation at hour 72, while crude protein showed a degradation of 17.5%, the parameters of the dry matter degradation kinetics were $a=4.73$, $b=48.66$ and $c=0.05$. It is concluded, based on the nutritional composition that the residue of jasmine tea is a viable option as a source of fiber in the diet of ruminants, it is recommended to deepen the post-rumen digestibility studies to make a proposal for its use in ruminant feeding.

Keywords: Chemical composition, *in situ* digestibility, tea residue, waste.

I. INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales generan subproductos, por ejemplo, residuos procedentes de la industria alimentaria, que al no ser reciclados o procesados apropiadamente generan problemas ambientales, algunos son quemados o vertidos en rellenos sanitarios produciendo liberación de dióxido de carbono, contaminación de cursos de aguas, molestias por presencia de olores, y proliferación de fauna nociva como ratas, moscas e insectos, su eliminación es un problema de gestión para las empresas productoras, sin embargo, algunos estos materiales son fuentes de interés alimenticio por su contenido en compuestos químicos nutricionales (Román *et al.*, 2015). La exigencia de buscar fuentes alternativas de alimento de buena calidad, que resulten accesibles y de bajo costo, para el consumo animal, ha traído como consecuencia la necesidad de realizar estudios sobre el potencial nutricional de subproductos alimenticios que se encuentran disponibles en la región (Pérez-Gil *et al.*, 2015), además, de caracterizar las propiedades nutricionales y validar a través de la evaluación de parámetros productivos, generando conocimiento para su utilización en los sistemas de producción ganadera y hacerlos sustentables con el medio ambiente (Makkar *et al.*, 2007).

En este sentido, se han realizado investigaciones, donde se reporta el valor nutritivo de residuos de té verde (*Camellia sinensis*) combinado con avena ensilada en la alimentación de cabras (Kondo *et al.*, 2004); en Japón, Xu *et al.* (2007) evaluaron la sustitución parcial de granos de cervecería por residuo de té verde en raciones totalmente mixtas para ovinos respecto al valor nutritivo de residuos de té verde ensilados y secos; Kondo *et al.* (2007) sustituyeron parcialmente la harina de soya y heno de alfalfa en cubos para las cabras; en otro trabajo se utilizaron residuos de té proveniente de yerba mate (*Ilex paraguarensis*) como alimento para ovinos en crecimiento y su producción de lana, en Australia (Po *et al.*, 2012). El té verde es una bebida popular en el mundo, la materia prima para su producción se obtiene principalmente de la planta *Camellia sinensis*, que dependiendo el proceso de fabricación se pueden obtener hojas para té negro, verde y Oolong (Ramdani *et al.*, 2013); además, mediante la técnica de aromatización de las hojas de té verde se puede obtener el té de jazmín (Shen *et al.*, 2017); el consumo de esta bebida no

solo es de preparación instantánea, ya que también puede ser embotellada, enlatada, lista para beber, esto ha llevado a un aumento en la producción, y por lo tanto, residuos insolubles en agua, principalmente hojas de té (Ramdani, 2014) en Japón se reportó 100,000 t de residuos al año (Kondo *et al.*, 2004) la producción de la materia prima ha ido en aumento en los años más recientes, con un 31 % en la última década (2011-2020), siendo el continente asiático el que más produce (FAOSTAT, 2020).

La adición de este residuo ensilado a raciones totalmente mixtas, brindan la posibilidad de utilizar el residuo de té verde como recurso proteico o la sustitución de otros materiales alimenticios, sin afectar negativamente los parámetros productivos de los animales, las características de alto contenido de proteína y bajo costo ciertamente disminuirían la dependencia en cierta medida de los productos de proteína de alto valor económico (Wang y Xu, 2013).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue, determinar la composición nutricional y digestibilidad *in situ* del residuo industrial de té de jazmín.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Crecimiento demográfico

El crecimiento poblacional, se ha producido en gran medida por el aumento del número de personas que sobreviven hasta llegar a la edad reproductiva y ha venido acompañado de grandes cambios en las tasas de fecundidad, lo que ha aumentado los procesos de urbanización y los movimientos migratorios, en la década de 1999- 2009 hubo una tasa de crecimiento de 11.6 %, mientras que en la década de 2010-2020 fue de 10.3 % (UNFAP, 2022), estas tendencias tendrán repercusiones importantes para las generaciones venideras, está previsto que la población mundial alcance los 8,500 millones en 2030, 9,700 millones en 2050 y 11,200 millones en 2100, como en todas las proyecciones, existe cierto margen de error en cuanto a estos últimos datos, estos resultados se basan en la variante media de la proyección de fecundidad, que contempla un descenso de esta en los países donde aún predominan las familias numerosas y un ligero aumento en países en los que la media de fecundidad es inferior a dos hijos por mujer, también se prevé que mejoren las posibilidades de supervivencia en todos los países (ONU, 2019). Aunado a esto, actualmente se busca lograr la seguridad alimentaria desde nivel individual, hogar, nación y global, buscando que todas las personas en todo momento tengan acceso físico y económico a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, llevando así, un ritmo de vida activo y sano (FAO, 2021b).

2.2 Importancia de la ganadería

El crecimiento y la transformación continua del sector pecuario ofrece oportunidades para el desarrollo agrícola, la reducción de pobreza, avances en materia de seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición humana, en algunos países del mundo, la creciente demanda de productos de origen animal se satisface en gran medida mediante la producción pecuaria en gran escala y las cadenas

alimentarias asociadas, no obstante, muchos pequeños productores dependen de la ganadería para su subsistencia, además de producir alimentos, la cría de animales desempeña otras funciones importantes como económicas, culturales y sociales, y proporciona múltiples servicios, por lo que se puede considerar a los animales como una parte esencial del sector agropecuario, el ganado aporta un 40 % del valor de la producción agrícola mundial, sosteniendo los medios de vida y la seguridad alimentaria, además, es uno de los sectores que crece más rápido en la economía agrícola, el 34 % del suministro de proteínas alimentarias procede de ganado y es un activo valioso, que actúa como reserva de riqueza y constituye una red de seguridad esencial en tiempos de crisis (FAO, 2021a).

2.3 Forraje en producción animal

La producción ganadera se puede ver afectada por insuficiente disponibilidad y baja calidad de recursos forrajeros, este es un problema principalmente en regiones secas y tropicales por la escasa disponibilidad de gramíneas para cubrir sus necesidades nutricionales, no obstante, el reto es incrementar el rendimiento del ganado en lugar de incrementar la cantidad de animales, con el fin de disminuir las extensas áreas de pastoreo para la alimentación de estos (Núñez-Torres y Rodríguez-Barros, 2019); y mejorar la productividad animal es una búsqueda continua, la intensificación de la producción ha contado con diversos métodos de apoyo, que consisten en el perfeccionamiento de las técnicas de producción empleadas, otros en la introducción de nuevas técnicas y procedimientos (Dominguez *et al.*, 2009), por lo tanto, se requiere difundir la información existente y divulgar las nuevas tecnologías para que los productores conozcan las distintas opciones disponibles para lograr productos de excelente calidad, ya que es a través del conocimiento aplicado se espera contribuir a lograr mayores oportunidades que permitan incrementar la productividad y competitividad (Partida *et al.*, 2017).

Para la producción ganadera sostenible, las alternativas son los sistemas silvopastoriles, aprovechamiento de residuos postcosecha de cultivos agrícolas de origen vegetal, han figurado como una alternativa rentable debido a los volúmenes y calidad de la biomasa forrajera aprovechable durante todo el año, inclusive en

épocas secas, ya que la masa foliar de los árboles, arbustos y residuos postcosecha se caracterizan por poseer nutrientes, que pueden ser aprovechados por los animales o microorganismos, no obstante, en la mayoría de los animales domésticos, este uso se restringe, debido a la presencia de metabolitos secundarios, especialmente taninos, que disminuyen el consumo voluntario y la digestibilidad de los nutrientes, reflejándose en la producción de los animales, estos efectos se asocian a la concentración en la dieta y la cantidad consumida, así como el estado de salud del animal (Núñez-Torres y Rodríguez-Barros, 2019).

2.4 Digestibilidad de los alimentos

La producción de leche y el crecimiento de los rumiantes son limitados por la calidad del forraje, lo cual se puede ver reflejado principalmente en bajo consumo voluntario y baja digestibilidad de los alimentos (Reyes-Gutiérrez, 2012), que es el conocimiento del valor nutritivo de los alimentos, reflejándose en ofrecer una buena nutrición al animal y, considerando los efectos de los procesos de digestión, absorción y metabolismo, por lo que se considera que es la proporción de nutrientes presentes en una ración que pueden ser absorbidos en el aparato digestivo (Lachmann y Febres, 2000) , la digestibilidad sirve como una medida para determinar la calidad de las dietas y de las materias primas utilizadas, la disponibilidad de los nutrientes que las constituyen y su importancia en la salud de los animales, su desempeño, las características de las heces y además, sirve para el cálculo de los requerimientos nutricionales (Osorio-Carmona *et al.*, 2012).

La mejor evaluación de calidad de los alimentos surge de la respuesta animal que es posible obtener con ellos, la respuesta productiva de los animales alimentados con forrajes está determinada por el nivel de consumo (50 a 75 % de impacto), la digestibilidad (25 a 50 %) y por la eficiencia de utilización (5 a 15 %) (Mertens, 2000). Mientras que el valor nutritivo de los alimentos resulta del efecto combinado de la digestibilidad, consumo y eficiencia de utilización (Van Soest, 1994).

El consumo y la digestibilidad, son las características de mayor importancia, aunque éstos no son medidos en forma rutinaria a causa de los costos elevados, de

la demanda de mano de obra y tiempo que requieren los experimentos *in vivo*, conocer la digestibilidad de los alimentos es básico para establecer su valor nutritivo y, por tanto para la formulación de raciones para los animales rumiantes, sin embargo, la determinación *in vivo* de la digestibilidad es un proceso laborioso y costoso, que requiere el empleo de grandes cantidades de alimento, por lo que se han propuesto distintos métodos *in vitro* para su estimación (Reyes-Gutiérrez, 2012).

2.5 Tipos de digestibilidad

El desempeño productivo de los rumiantes está en función del valor nutricional de la dieta que consumen y la evaluación del valor nutricional puede realizarse por métodos *in vivo*, *in vitro* e *in situ* (Posada y Noguera, 2005).

2.5.1 Digestibilidad *in vivo*

Este método denominado también digestibilidad aparente por colección total de heces, es el que mide con mayor precisión la digestibilidad de un alimento, pues computa la ingestión de una determinada ración de composición conocida y la colecta total de la deposición fecal correspondiente al alimento consumido, aunque presenta un leve sesgo respecto de la digestibilidad real debido al material endógeno que es eliminado a través de las heces (Reyes-Gutiérrez, 2012; Lachmann y Febres, 2000).

2.5.2 Digestibilidad *in vitro*

Este método establecido por Tilley y Terry (1963) consiste en someter el alimento a una fermentación en inóculo ruminal con el fin de simular lo que ocurre en el rumen dentro de un contenedor en el que se coloca líquido ruminal, la cantidad de muestra del alimento que desaparece se considera como que ha sido digerida, la técnica se basa en la acción de 2 tratamientos, uno biológico y otro químico, sobre la muestra que se desea analizar, el tratamiento biológico se refiere a una digestión anaeróbica de una muestra seca de forraje con microorganismos ruminales en temperatura de 38 a 40 °C en pH constante de 6.8 a 6.9 por 48 horas mientras que

el tratamiento químico consta de pepsina al 5 % diluida con agua mineralizada y ácido clorhídrico, cuya finalidad es solubilizar la gran proporción de proteína que resiste el tratamiento biológico.

2.5.3 Digestibilidad *in situ*

También es conocida como técnica *in sacco*, se emplea para realizar evaluaciones a alimentos y sus materias primas empleando animales, se utilizan bolsas de *nylon*, permite estudiar la cinética de desaparición del alimento que se introduce en el rumen de animales fistulados, el alimento se coloca dentro de bolsas de *nylon* cerradas y luego se colocan en el rumen de los animales, estas bolsas se deben retirar conforme pasa el tiempo en que se decida evaluar la cantidad del material que ha desaparecido, por lo tanto, la fracción del alimento que no se recupera se asume que ha sido degradado, de este modo se construye la curva de desaparición y ha mostrado un buen grado de asociación con el consumo y la digestibilidad para alimentos como forrajes frescos y henos (Orskov *et al.*, 1980; Orskov y McDonald, 1979).

$$P = a + b (1 - e^{-ct})$$

Donde:

P = degradación

a = fracción soluble rápidamente degradable

b = fracción potencialmente degradable

c = tasa de degradación fraccional

t = el tiempo

2.6 Características nutricionales de residuos provenientes de industria de los alimentos

Actualmente el uso de residuos industriales en la nutrición del ganado, como una alternativa a otros compuestos químicos, se está convirtiendo un nuevo objetivo en la producción ganadera (Makkar *et al.*, 2007), por ejemplo, la producción de cerveza artesanal que genera residuos sólidos en cantidades importantes, a los cuales no se les da un uso adecuado, debido a la dificultad que representa el manejo de un producto con alto contenido de humedad (80 %); sin embargo, se pueden

utilizar para alimentación animal mostrando valores de análisis químicos proximal como los que se presentan resumidos en el cuadro 1 y mostrando una aceptación en cerdas de 83.4 % cuando se ofreció solo y del 100 % combinado con otros ingredientes (Medina-Saavedra *et al.*, 2018).

Cuadro 1. Composición nutricional en porcentaje de residuos sólidos orgánicos de tres tipos de cerveza artesanal clara, ámbar y oscura, en base seca.

Tipo de Cerveza	H	C	EE	FC	ELN	PC	TND
Clara	86.13	2.37	1.94	4.93	65.98	10.91	75.96
Ámbar	83.17	2.69	1.82	4.91	62.85	10.90	71.41
Oscura	84.05	2.24	2.22	4.89	63.77	10.93	73.06
Promedio	84.45	2.43	1.99	4.91	64.20	10.91	73.47

H=humedad, C=ceniza, EE=extracto etéreo, FC=Fibra cruda, ELN=extracto libre de nitrógeno, PC=proteína cruda, TND=total de nutrientes digestibles

El aceite de oliva es un ingrediente altamente apreciado por la sociedad, tanto por sus cualidades organolépticas, como por sus propiedades nutricionales, sin embargo, se estima que aproximadamente 30 % de la producción termina como residuo semisólido y los residuos líquidos son equivalentes al 50 % de la biomasa producida, al principal desecho sólido se le denomina orujo, que es la pasta residual del proceso de prensado o de los procesos empleados para la extracción del aceite, la apariencia de la pasta es similar al orujo de olivo, contrastando únicamente en su carácter graso más evidente en la pasta, por lo que existen diferencias en sus composiciones, ya sea provocados por el proceso de extracción de aceite o por el estado de madurez del fruto (Martínez-Robinson *et al.*, 2019); considerando que el orujo se compone principalmente por restos de la pulpa y semillas del fruto, por lo que aumenta la cantidad de humedad (Gómez-Muñoz *et al.*, 2012), respecto a esto, Martínez-Robinson *et al.* (2019) caracterizaron los residuos sólidos de la extracción del aceite de oliva y observaron diferencia entre pasta y orujo principalmente en humedad, grasa, carbohidratos y celulosa (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición nutricional (porcentaje en base seca) de orujo y pasta de olivo.

Nutriente	P	OR	ORN
Humedad	55.8	71.4	70.3
Cenizas	3.9	4.3	4.3
Grasa	33.0	14.2	12.1
Proteína	7.3	7.21	8.7
Carbohidratos	54.9	74.5	73.2
Pectina	8.1	8.0	8.7
Celulosa	46.8	66.5	65.1

P: Pasta de olivo, OR: Orujo de octubre, ORN: Orujo de noviembre.

El orujo de uva es un subproducto de la producción del vino compuesto por cáscaras, pulpa y semillas con cantidades variables de azúcares las cuales van a depender principalmente de su uso o no para la fermentación y extracción de alcohol después del prensado de la uva, al respecto, se realizó un trabajo de investigación para determinar el efecto de la sustitución de heno de alfalfa por orujo de uva sin fermentación alcohólica en dietas para ovinos, en respuesta productiva y características de la canal, concluyendo que el orujo de uva sin fermentación puede reemplazar hasta el 30 % del heno de alfalfa, sin afectar el crecimiento animal y las características de la canal (Pétriz, 2010) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición nutricional de orujos de uva de fermentación y sin fermentación, porcentaje en base seca.

Nutrientes (%)	Orujo de uva de fermentación	Orujo de uva sin fermentación
Materia seca	55.0	91.0
PC	13.8	14.0
EE	9.4	7.90
FDA	50.1	42.0
Cenizas	8.8	6.0
ELN	17.9	30.1

PC: proteína cruda; EE: extracto etéreo; FDA: fibra detergente neutra; ELN: extracto libre de nitrógeno.

También los desechos de té verde, el cual se deriva de las hojas de *Camellia sinensis* (Anand *et al.*, 2015) han mostrado potencial forrajero, y es que esta bebida se ha vuelto popular entre las personas en los últimos años, no solo en los países productores de té sino también en todo el mundo, este aumento en la producción de bebidas de té ha resultado en generar residuos insolubles en agua, principalmente hojas de té, en consecuencia, la industria de las bebidas de té tiene el desafío de asignarle un destino a los desechos que actualmente se transportan a los vertederos, sin embargo, se han reportado estudios en los cuales se ha sustituido la pasta de soya, heno de alfalfa, ensilado de avena y granos de cervecería y se observó que el desecho de té verde es una buena opción como ingrediente en la dieta de los animales ya que su contenido de nutrientes como la proteína cruda puede superar un 30 % (Kondo *et al.*, 2004; Kondo *et al.*, 2007; Xu *et al.*, 2007).

Con la creciente conciencia sobre la salud y problemas de nutrición en el mercado de bebidas, el consumo de té, especialmente el té verde, ha aumentado recientemente, en consecuencia, una gran cantidad de residuos de té se desecha anualmente por empresas de bebidas. Aproximadamente 100,000 t de desecho de té se producen anualmente en Japón, estos tienen principalmente dos destinos, como material de composta o son incinerados provocando un impacto negativo en el medio ambiente (Kondo *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2011). Existe una demanda de uso eficiente de subproductos alimentarios debido a preocupaciones económicas y ambientales, estos residuos generalmente son altos en proteína cruda, aminoácidos, catequinas y vitaminas (Kondo *et al.*, 2004; Xu *et al.*, 2007; Nishino *et al.*, 2007); sugiriendo que el desecho de té puede ser utilizado como alimento para animales ya sea como ensilaje único o ensilaje mixto con ensilaje de avena, destacando la conservación de sus nutrientes a pesar del proceso de fabricación de la bebida (Wang y Xu, 2013). Algunos investigadores han evaluado la composición nutricional y uso en la alimentación de rumiantes (cuadro 4).

Cuadro 4. Composición químico proximal (porcentaje en base seca) de ensilado y secado de residuos de té verde (RTV).

	Kondo <i>et al.</i> , 2007	Kono <i>et al.</i> , 2000	Wang <i>et al.</i> , 2011	Xu <i>et al.</i> , 2007	Kondo <i>et al.</i> , 2004a	Nishida <i>et al.</i> , 2006				
Variable	RTV	RTV seco	RTV seco	RTV	RTV	RTV	RTV	\bar{x}	DE	CV
MS	19.4	95.3	95.9	15.1	25	22.3	-	-	-	
Ceniza	3	3	3.4	-	-	-	3.2	3.2	0.2	6.1
PC	32.6	31.9	27.6	27.4	31.1	27.6	33.2	30.2	2.6	8.5
EE	-	-	4.3	2.3	5.7	-	7.3	4.9	2.1	43.1
FC	-	-	16	-	-	-	19.5	17.8	2.5	13.9
FDA	-	-	-	36.7	26.1	26.3	22.4	27.9	6.1	22
FDN	27.7	34.8	-	44.5	-	43.9	29.9	36.2	7.8	21.5
TFE	12.8	8.3	8.1	-	-	10	-	9.8	2.2	22.4
TTE	10.1	7.3	-	-	-	8.9	-	8.8	1.4	15.8
TC	1	1.7	-	-	-	9.1	-	3.9	4.5	113.7
PG*	43.9	46.3	-	-	-	-	-	45.1	1.7	3.8

MS: materia seca; PC: proteína cruda; EE: Extracto etéreo; FC: fibra cruda; FDA: Fibra detergente ácida; FDN: Fibra detergente neutra; TFE: total de fenoles extraíbles, TTE: total de taninos extraíbles, TC: taninos condensados; PG: producción de gas, * Potencial de producción de gas (mL/200 mg de materia seca); DE: Desviación estándar; CV: coeficiente de variación; \bar{x} : media.

Respecto al cuadro anterior, el contenido de proteína cruda es mayor al contenido en el heno de alfalfa con 17.88 % (Ghadami *et al.*, 2019), además, el NRC (2001) establece que un ingrediente alimenticio debe tener al menos 16 % de proteína cruda para ser considerado proteico, aunque hay algunos que superan ese valor como la pasta de soya con más del 40 % para la proteína cruda; a pesar de que no hay mucha variación en la información respecto a algunas variables, los valores encontrados en la FDA, FDN y TC superan una desviación estándar de 4.5

cuando la media es cero y la desviación estándar 1, también se puede observar que los datos que menor variación tienen son la ceniza, proteína cruda, fibra cruda, total de fenoles extraíbles y la producción de gas.

Xu *et al.* (2007) observaron que el contenido de amoníaco-N en el rumen tiende a disminuir ($p= 0.063$) con el aumento de inclusión de residuos de té verde (5, 10 y 15 %), no se ve afectado el consumo voluntario ($p= 0.486$) por lo que recomiendan la inclusión de residuos de té verde de 15 % de la dieta en base seca para la ración totalmente mixta, aunque la digestibilidad de la proteína disminuye un 2 % respecto a la dieta control integrada por granos de cervecera, alimento comercial, maíz, pasta de soya, heno de avena, heno de alfalfa, pulpa de remolacha y suplemento vitamina-mineral. También Nishida *et al.* (2006) al evaluar en el último día de alimentación (día 21) antes de la alimentación en la mañana y 3 horas después, sugieren que la alimentación en dietas que contienen el 20 % de la materia seca de ensilaje de residuos de té verde para novillas Holstein no tienen un efecto negativo en la fermentación ruminal debido a que no hay diferencia en la cantidad de ácido acético, propiónico y butírico ($p>0.34$) respecto a la dieta testigo (heno de Timothy, maíz, pasta de soya y suplemento mineral), además, aumenta su actividad antioxidante plasmática aproximadamente 0.10 mmol/L y concentración de vitamina E 145 $\mu\text{g}/100\text{ mL}$ ($p<0.05$), sugiriendo que agregar este residuo a la dieta del ganado beneficiará su salud, debido a que los niveles elevados de antioxidantes y vitamina E observados pueden proteger a las células y tejidos del daño oxidativo.

Resultados obtenidos por Kondo *et al.* (2007) en el cuadro 5, muestran que los residuos de té verde ensilados y secos son útiles como sustitutos parciales de la harina de soya y los cubos de heno de alfalfa para las cabras, la producción de gas, la producción de amoníaco y la degradación de la proteína en rumen entre los residuos se asemeja ($p>0.05$) cuando se analizan de manera *in vitro*, sin embargo, al agregarlo parcialmente a una dieta testigo compuesta de heno de Timothy, maíz, salvado de trigo, pasta de soya, heno de alfalfa en cubos y minerales, se observó una disminución en la palatabilidad de la dieta debido al aumento del tiempo de consumo (EEM =0.44), al comparar el residuo ensilado con el secado y la dieta testigo, sobre todo con un 10 % de inclusión de residuo ensilado, tomando como

referencia el tiempo de consumo de la dieta testigo expresado en 1, mientras que la digestibilidad aparente de materia seca, proteína cruda y fibra detergente fueron similares (EEM =0.82, 0.97 y 1.45 respectivamente), se recomienda incorporar RTV en la dieta al 5 % con base a la materia seca.

Cuadro 5. Mediciones *in vitro* e *in vivo* de residuos de té verde (RTV) ensilados y secados y otros 2 forrajes.

Mediciones <i>in vitro</i>					
	RTV ensilado	RTV secado	Harina de soya	Heno de alfalfa	
Producción de gas (mL/500 mg MS)	34.8	36.4	48.4	39.2	
NH ₃ (mg/L)	13.9	10.7	34.8	14.8	
Proteína degradable (%)	43.5	45.3	80.9	59.4	
Mediciones <i>in vivo</i> (digestibilidad aparente %)					
	Dieta testigo	RTV ensilado 5 %	RTV ensilado 10 %	RTV seco 5 %	RTV seco 10 %
Materia seca	73.4	73.1	73.1	73.3	73.5
Proteína cruda	72.3	70.9	70.3	71.3	70.7
Fibra detergente neutra	63.3	63.2	64.1	63.6	64.4
Tiempo comiendo	1	1.39	1.61	1.19	1.15
Características ruminales:					
pH	6.49	6.46	6.38	6.5	6.39
Ácidos grasos volátiles(mmol/L)	91	90.9	90	88.8	92.9
NH ₃ (mg/L)	18.6	16.9	17.2	15.8	17.4

Eruden *et al.* (2003) mencionan que los residuos industriales de té verde se pueden suministrar en un 10 % en base de materia seca de la dieta total a las vacas

Holstein lactantes que producen aproximadamente 25 kg de leche por día sin ningún efecto perjudicial en su rendimiento, observando que el consumo y la digestibilidad de la materia seca no muestra diferencia respecto al grupo testigo, pero, la digestibilidad de la proteína cruda en el grupo de té tendió a ser menor que en el grupo de control ($p=0.081$) con 3.1 % de diferencia, además el pH ruminal, el número de protozoos y las concentraciones de ácidos grasos volátiles (acético y propiónico) fueron similares en ambos grupos ($p>0.05$), mientras que el ácido butírico tuvo un porcentaje molar menor de 1.2 % al incluir el residuo, el porcentaje molar de ácido butírico y la concentración de nitrógeno amoniacal del rumen en el grupo de té fueron significativamente ($p<0.05$) más bajos que en el grupo testigo, además la producción de leche, el porcentaje de grasa de la leche y el porcentaje de proteína de la leche no fueron significativamente diferente al agregar residuos de té, sin embargo el porcentaje de lactosa al agregar residuos de té, fue más bajo ($p=0.01$) con 0.5 % menos.

2.7 Uso de residuos de té verde en animales monogástricos

El residuo de té verde en polvo se ha utilizado como ingrediente en pollos de engorda; en un trabajo de investigación realizado para determinar el nivel óptimo de residuo de té verde (0.50 %, 1 % y 2 %) en dietas sin antibiótico (clortetraciclina), además evaluar su efecto sobre parámetros productivos durante 6 semanas, los pollos que recibieron una dieta con antibiótico mostraron mayor ganancia de peso corporal con una diferencia de hasta 146 g respecto al resultado de agregar 1 % que fue más bajo ($p<0.05$), sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el consumo de alimento y la eficiencia alimenticia entre tratamientos ($p>0.05$), el residuo de té no mostró diferencia significativa en el colesterol total en plasma y carne ($p>0.05$) aunque la diferencia numérica fue de 18.78 mg/dL y 0.24 mg/dL respectivamente y mostrando un valor inferior con la adición de 1 %, la grasa abdominal tuvo diferencia significativa ($p<0.05$) de 0.26 % al agregar 0.50 % de residuo (Yang *et al.*, 2003).

En otro estudio al evaluar la inclusión de 0.50 %, 1 % y 1.5 % a la dieta durante 42 días, disminuyó significativamente ($p<0.05$) la ganancia diaria de peso y

peso corporal a los 21 días con 2.54 g y 37.19 g respectivamente, el grupo testigo, a los 42 días ya no se mostró esa diferencia, incluso al agregar 0.50 % se tuvo 7.19 g más de peso corporal mientras que para la ganancia diaria de peso se registró aumento de 2.15 g ($p < 0.05$), también se obtuvo una diferencia significativa en la grasa abdominal siendo menor para 1.5 de inclusión con 0.20 % ($p < 0.05$) aunque eso no afectó el rendimiento de canal que fueron estadísticamente iguales (Hrnčár y Bujko, 2017).

En cerdos se han descrito los efectos positivos del residuo de té verde; al incluir 0.50 %, 1% y 2 % en la dieta testigo, en un estudio realizado en cerdos en finalización durante 6 semanas, no hubo diferencia significativa al agregar 0.05 % y 1 % ($p < 0.05$) tanto para la ganancia de peso como para la conversión alimenticia, al incluir 2 % la ganancia de peso reduce 2 kg y la eficiencia alimenticia se eleva 1.03, la proteína cruda de la carne fue estadísticamente igual al agregar 2 % ($p > 0.05$), mientras que para 0.50 % y 1 % se redujo 1.92 % y 0.99 % respectivamente, la grasa cruda presente en la carne fue reduciendo conforme iba aumentando el porcentaje de inclusión, siendo igual al grupo testigo la inclusión del 2 % y elevándose hasta un 50 % al incluir solo el 0.50 % (Hossain *et al.*, 2012).

2.8 Uso de residuos de té verde y forrajes en dietas de rumiantes y su digestibilidad

Después de la preparación de la bebida en agua caliente, los desechos de hojas de té generalmente contienen mínimo 50 % y hasta 80 % de agua, por lo tanto, ensilar es una técnica común y más favorable que se utiliza para preservar desechos de hojas de té, , el secado puede ser costoso porque requiere secadores eléctricos para evaporar la humedad del ingrediente, en los países tropicales, el secado al sol puede convertirse en el método de elección, pero es efectivo solo en la estación seca, además, la mayoría de las investigaciones sobre el uso de desechos de hojas de té para alimentar a los rumiantes se han realizado en forma de ensilado (Kondo *et al.*, 2004; Kondo *et al.*, 2007; Xu *et al.*, 2007).

Las posibles relaciones de adición en ensilado y raciones totalmente mixtas, en las investigaciones también brindan la posibilidad de utilizar el residuo de té

verde como recurso proteico o la sustitución de otros ingredientes alimenticios, las características de alto contenido de proteína y bajo costo ciertamente disminuirían la dependencia en cierta medida de los productos de proteína importados, sin embargo, también hay problemas porque el residuo siempre se produce en masa, las compañías de bebidas están dispersas y la mayoría de las veces lejos de la zona urbana, por lo tanto, es necesario elaborar un plan razonable para reducir el costo innecesario (Wang y Xu, 2013).

En algunos trabajos de investigación donde se ha utilizado el residuo de té verde en diferentes porcentajes de inclusión o de manera individual como se observa en el cuadro 6, se han obtenido valores semejantes o con una diferencia significativa ($p < 0.05$) para la proteína cruda.

Cuadro 6. Porcentaje de digestibilidad de algunos nutrientes en dietas con diferente nivel de inclusión de residuos de té verde.

Autores	% de inclusión	MS	PC	FDN
Kondo <i>et al.</i> , 2004	5	66.8	54.9	63.1
Kondo <i>et al.</i> , 2004	20	69	63.5	66.4
Xu <i>et al.</i> , 2007	15	70.5	72.4	58.1
Kondo <i>et al.</i> , 2007	100	-	43.5	-
Kondo <i>et al.</i> , 2007	5	73.1	70.9	63.2
Suto <i>et al.</i> , 2007	10	82.6	89	82.5
Suto <i>et al.</i> , 2007	20	91.1	95	92.4
Suto <i>et al.</i> , 2007	30	90.7	95.7	92.3

MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutra

A pesar de que la humedad tiende a aumentar conforme aumenta la cantidad de residuo incorporado a la dieta, la digestibilidad puede aumentar o se mantiene igual, sin embargo, Suto *et al.* (2007) recomiendan que la humedad de la ración totalmente mixta se mantenga alrededor de 55 %; los valores mostrados de proteína cruda del residuo de té verde son mayores a los obtenidos en algunos forrajes de uso común en la alimentación de rumiantes como se muestra en el cuadro 7, mientras que el contenido de fibra detergente neutra es menor.

Cuadro 7. Composición nutricional de forrajes utilizados comúnmente en la alimentación de rumiantes y sus parámetros de digestibilidad *in situ*.

Variable %	Sánchez <i>et al.</i> , 2020	Mancipe-Muñoz <i>et al.</i> , 2022		Araiza-Rosales <i>et al.</i> , 2013		Jalilvan d <i>et al.</i> , 2008	Ghadami <i>et al.</i> , 2019
	Rastrojo de maíz	Maíz verde picado	Ensilad o de maíz	Maíz verde picado	Ensilado de maíz	Heno de alfalfa	Heno de alfalfa
MS	69.65	24	24	25.1	25	93.3	93.75
PC	6.67	9.7	8.7	6.7	5.9	15.2	17.88
FDN	67.31	45	45	42.5	59.5	46.6	43.53
FDA	32.54	26.5	30.9	26.1	30.7	-	37.31
DIGMS	53.74	-	54.6	-	81.7	73.1	58.02
DIGPC	37.78	-	-	-	-	64	53.30
<i>a</i> (MS/PC)	26.58	-	-	-	37.49	31.5/29	18.7/5
<i>b</i> (MS/PC)	27.16	-	-	-	42.23	41.6/35	39.3/48

MS: materia seca, PC: proteína cruda, FDN: fibra detergente neutra, FDA: fibra detergente ácida, DIGMS: digestibilidad de la materia seca, DIGPC: digestibilidad de la proteína cruda, *a*: fracción soluble; *b*: fracción potencialmente degradable.

2.9 Origen y producción del té

Alrededor del siglo VII, el cultivo del té se extendió de China a Japón y posteriormente a otros países asiáticos y Europa, la planta de té ha sido cultivada y consumida ampliamente en Asia, particularmente en China y Japón (Yamamoto *et al.*, 1997). De acuerdo a FAOSTAT (2020) en el año 2011 se produjeron 4,827,510 toneladas de té, mientras que en el 2020 fueron 7,024,042 toneladas, lo que muestra un incremento de 31 % en los 10 años registrados, en la figura 1 se puede observar como se ha dado este incremento.

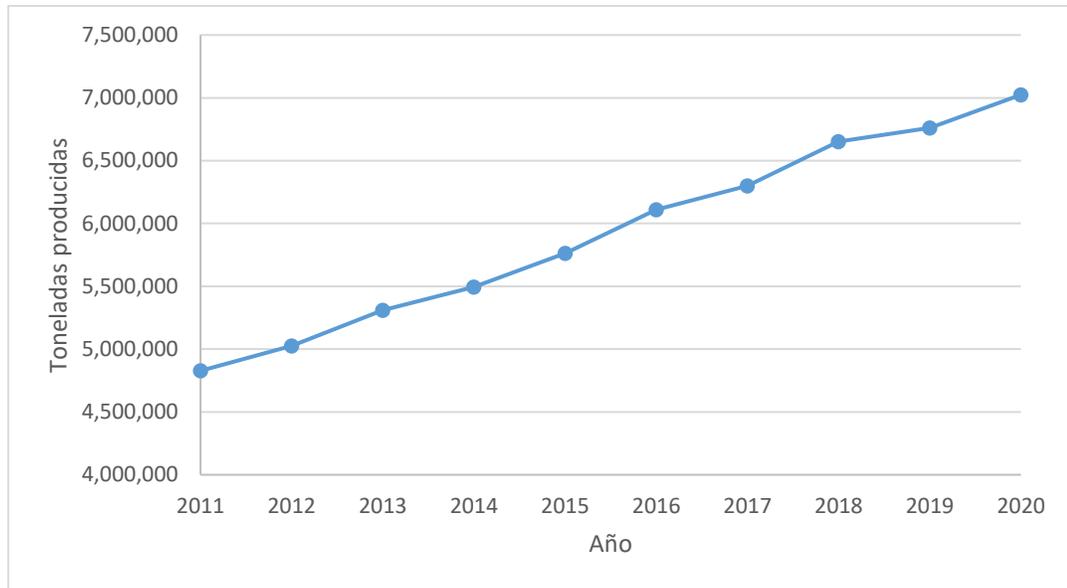


Figura 1. Producción de té en el mundo (FAOSTAT, 2020).

El continente asiático es el que mayor aporta a la producción de té con un 83.1 % de la producción total y Europa el que menos aporta con 0.01% del total, como se muestra en la figura 2.

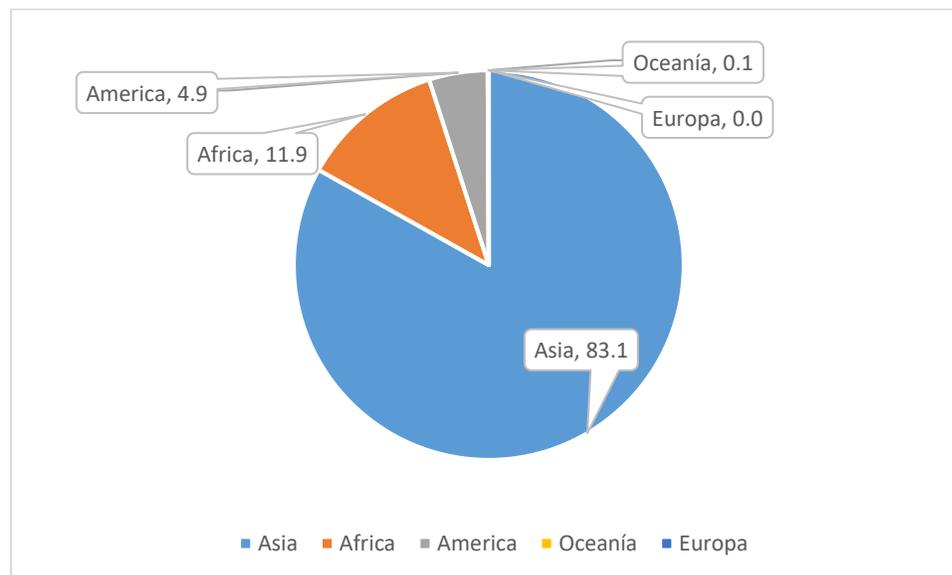


Figura 2. Distribución continental de la producción de té (FAOSTAT, 2020).

Respecto a los países con mayor producción destacan China e India, siendo los 2 países que aportan el 63% de la producción mundial, a pesar de que el aporte del continente americano es bajo, Argentina se ubica en cuarto lugar como principal productor (figura 3).

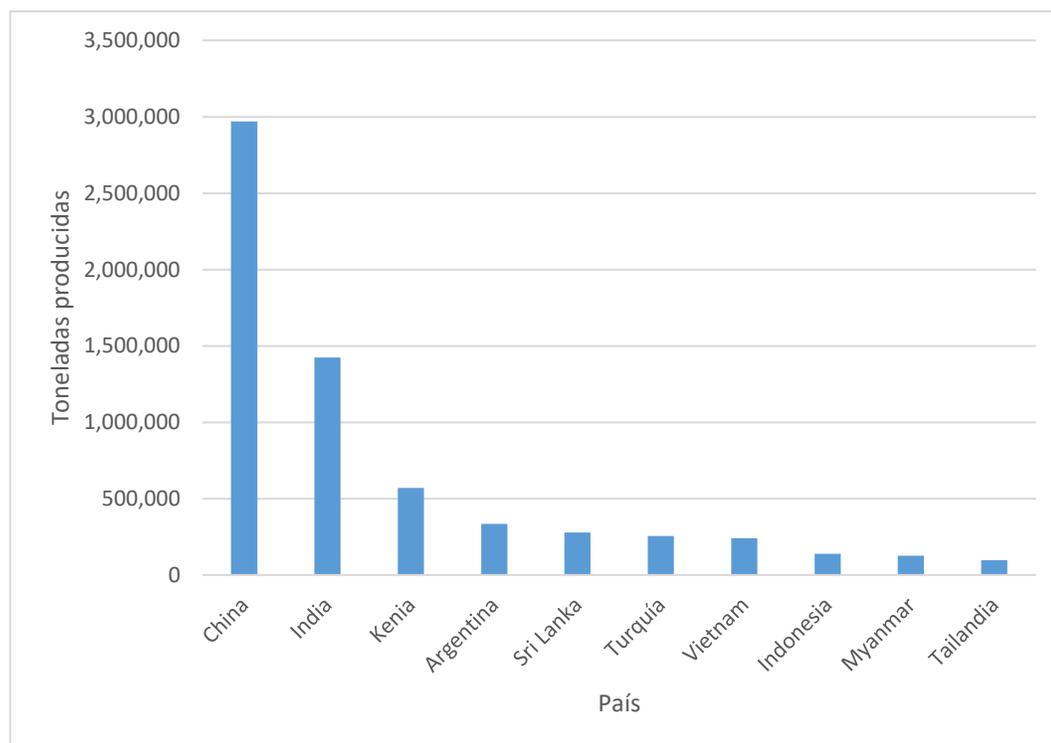


Figura 3. Principales países productores de té en el mundo (FAOSTAT, 2020).

El té, es a nivel mundial una de las bebidas más populares y de menor costo, solo después del agua, el té es consumido por una amplia gama de grupos de edad en todos los niveles sociales (Yamamoto *et al.*, 1997).

Los principales países exportadores se pueden ver en la figura 4, donde a pesar de que china es el mayor productor, no es el que más exporta.

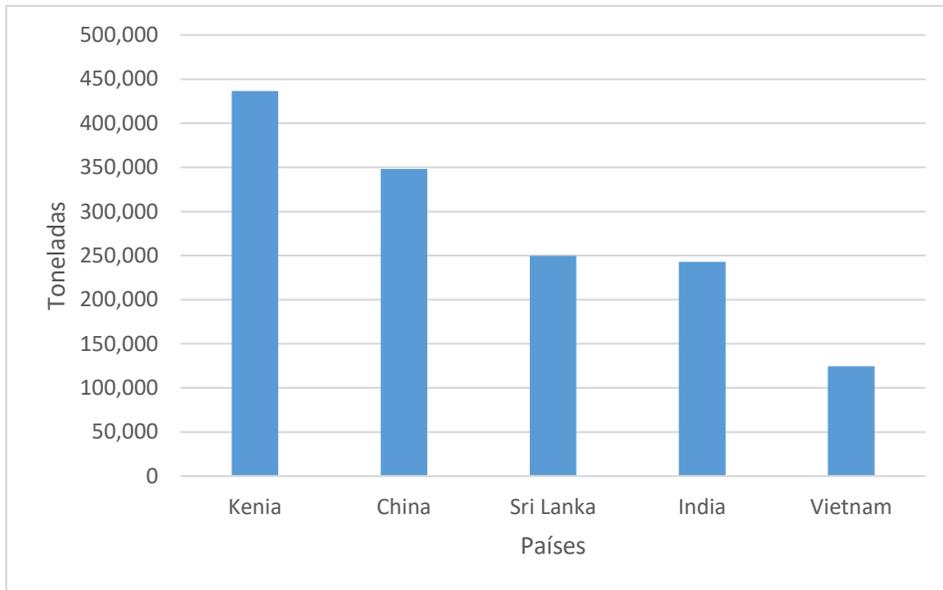


Figura 4. Principales países exportadores de té (FAOSTAT, 2020).

Mientras que, de los 5 principales países importadores, solo Pakistán pertenece al continente asiático, que es el que mayor produce, y los demás corresponden a los continentes que menos producción de té registran (América y Europa), como se muestra en la figura 5.

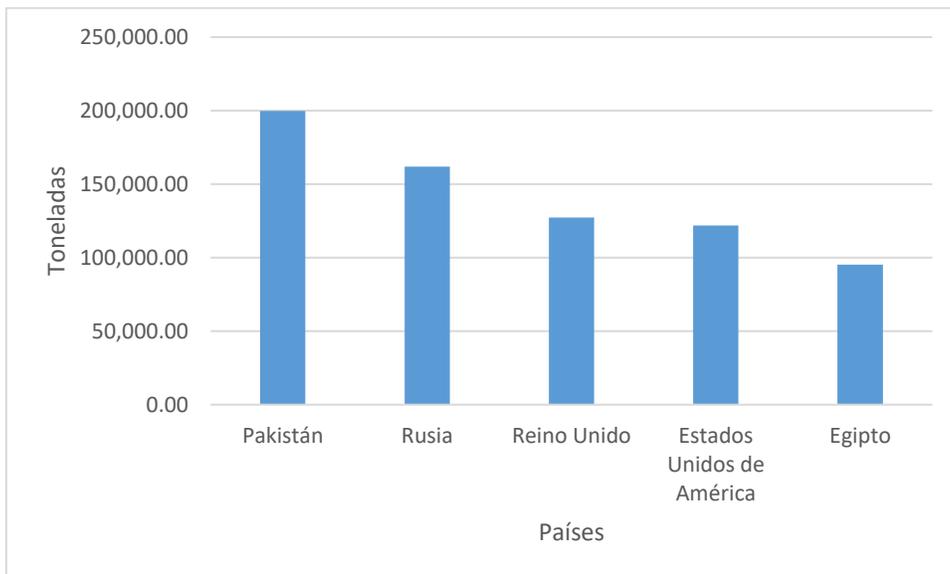


Figura 5. Principales países importadores de té en el mundo (FAOSTAT, 2020).

2.10 Composición química de las hojas de *Camellia sinensis*

Las hojas de té, al ser procesadas ya sea para té negro y verde, tienen típicamente 95 % o más de contenido de materia seca (MS) y esto ayuda a que este material sea duradero para el almacenamiento a largo plazo, además, las hojas de té tienen una cantidad considerable de proteína cruda, azúcares, fibra, vitamina A, como se muestra en el Cuadro 8 (Yamamoto *et al.*, 1997).

Cuadro 8. Contenido de proteínas, azúcares, fibra, lípidos y vitaminas de las hojas de té (*Camellia sinensis*).

Nutrientes	Contenido (g/kg MS)
Materia seca	950 – 978
Proteína cruda	182 – 307
Aminoácidos libres	2 – 58
Total de N	34.6 - 63.6
Azúcares	286 – 392
Fibra	100 – 195
Lípidos	35 – 53
Vitamina A, (UI/100g MS)	6,700 - 16,000
Vitamina B1, (UI/100g MS)	0.001 - 0.006
Vitamina B2, (UI/100g MS)	0.008 - 0.018
Vitamina C, (UI/100g MS)	0.44 - 2.50

2.11 Procesamiento de las hojas de té

Existen tres tipos diferentes de hojas de té, variando el proceso de fabricación: hojas de té negro, verde y Oolong, el té negro, se elabora sometiendo las hojas de té frescas a un proceso oxidativo completo en el que participan enzimas de las hojas al enrollarlas bajo temperatura y humedad predeterminadas; el té verde no se oxida y el té Oolong solo es parcialmente similar a este proceso oxidativo (Yamamoto *et al.*, 1997). De manera general, el té negro tiene la mayor parte de la producción en todo el mundo, el té verde y Oolong representan alrededor del 20 % y menos del 2 % de la producción, respectivamente, sin embargo, en algunos países

asiáticos como Japón y China, el té verde es más popular que el té negro y su proceso de fabricación varía como se puede observar en la figura 6 (Ramdani, 2014).

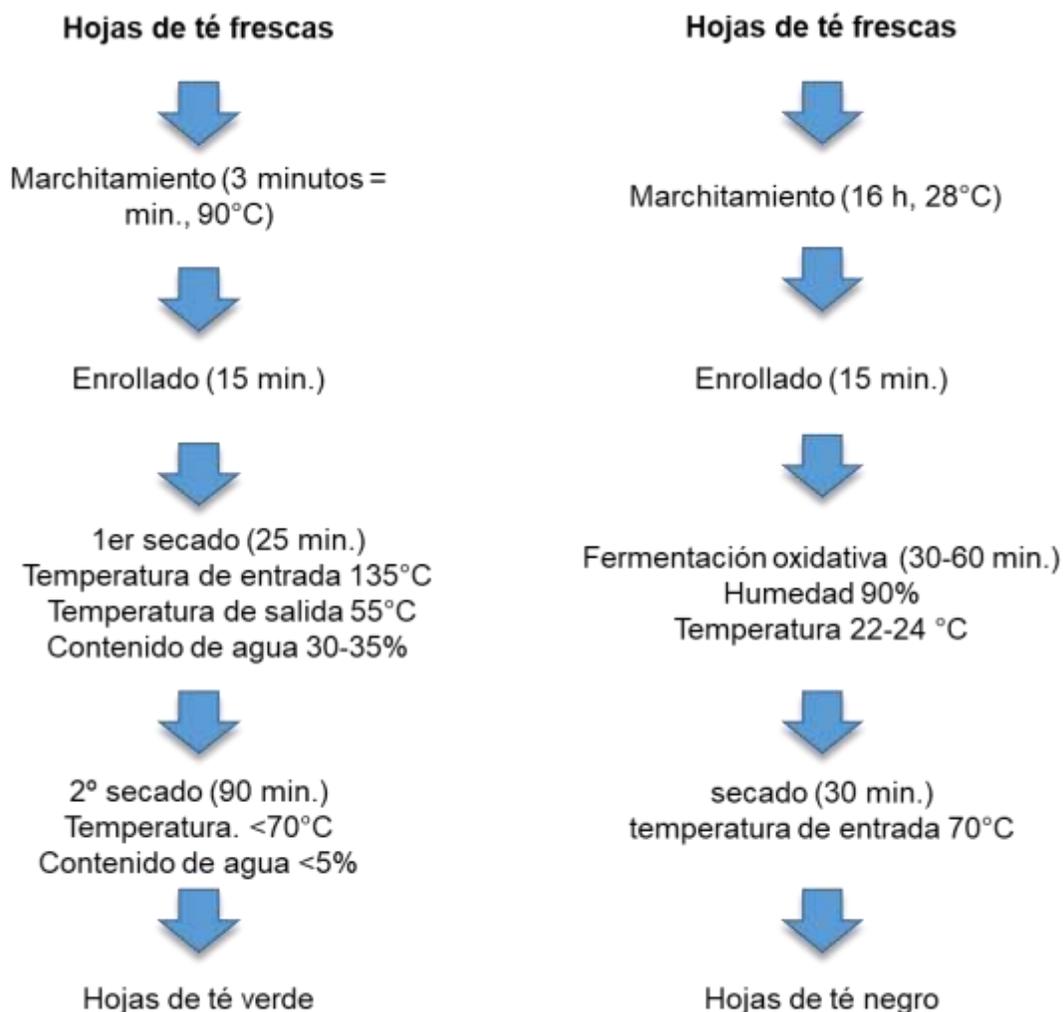


Figura 6. Secuencias típicas de fabricación de té verde y negro.

En el cuadro 9, a pesar de las diferencias de manufactura para la elaboración de las hojas de té, no hay diferencia significativa en la materia seca, materia orgánica, proteína cruda y cenizas ($p > 0.05$), sin embargo, para extracto etéreo, las fracciones de fibra y compuestos fenólicos ($n=6$ réplicas) si la hay ($p < 0.01$), por otra parte, si comparamos ambos residuos, la diferencia entre ellos es significativa ($p < 0.01$) con $n= 18$ (Ramdani, 2014).

Cuadro 9. Composición química de hojas de té verde, té negro y sus residuos té verde (RTV) y residuos de té negro (RTN) en porcentaje.

Composición	Té verde	Té negro	RTV	RTN
Materia seca	93.7	94.2	14.1	13.1
Materia orgánica	93.8	93.9	95.5	95.9
Proteína cruda	24	24.2	25.2	24
Extracto etéreo	2.1	1.3	2.3	1.4
Cenizas	6.2	6.1	4.5	4.1
Fibra detergente neutra	25.4	32.3	39.4	46.1
Fibra detergente ácida	21.1	30.9	28.5	41
Fenoles totales	23.1	15.1	13	9.9
Taninos totales	20.4	13.3	12.6	9
Taninos condensados	17.6	10.1	10.5	7.7

2.12 Té de jazmín

El proceso de fabricación del té de jazmín incluye varios pasos para su aromatización y secado, para perfumarse, el té verde procesado de manera convencional se mezcla con flores de jazmín frescas completamente abiertas y se deja reposar durante varias horas, luego, se quitan las flores y las hojas de té perfumadas se secan con calor (entre 90°C y 100°C durante una hora), dependiendo de la intensidad aromática deseada, este proceso de aromatización y calentamiento puede repetirse varias veces (Shen *et al.*, 2017). Fuzhou es la ciudad donde se elaboró por primera vez el método de aromatización del té hace más de 1000 años, la gente continuó desarrollando aromas, obteniendo así el té de jazmín, el cual se distingue de otros tés de hierba por ser un té perfumado (GIAHS, 2014).

2.13 Impacto ambiental

El desarrollo de la industrialización trae consigo ventajas indiscutibles como el aumento en la calidad de vida de las poblaciones, pero a la vez la convierte en una sociedad de consumo para la cual la industria debe ofrecer nuevos productos haciendo más complejos sus procesos, generando cada vez mayores cantidades de residuos, que la llevan a ser el blanco de muchas críticas y a adquirir una imagen de entorno negativo (Villamizar, 2000); la producción de materia orgánica derivadas de procesos fotosintéticos en la tierra oscila alrededor de 155 billones de toneladas al año, esta puede ser consumida de manera directa por el hombre y/o animales, en su mayoría esta materia orgánica se transforma en residuos no comestibles que se constituyen en una fuente de contaminación ambiental (Cury *et al.*, 2017); y es que las alternativas, desde el punto de vista económico, social y nutricional, que, en la actualidad se presentan para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales, aunado a la falta de conciencia en la protección del medio ambiente debido una inadecuada gestión, provocando que se conviertan en fuentes de contaminación de los recursos naturales: suelo, agua y aire (CPTS, 2003). Existe una preocupación para aprovechar los recursos naturales sin causar perjuicios al medio ambiente, por lo que es importante caracterizar nutricionalmente, determinar la factibilidad de uso de estos productos y dar valor agregado a estos residuos industriales (Cury *et al.*, 2017).

III. HIPÓTESIS

El residuo de té de jazmín posee al menos 18 % de proteína cruda, 27.7 % de fibra detergente neutra, 1 % de taninos condensados, la digestibilidad de la proteína cruda será de al menos 43.5 % y puede ser una nueva alternativa para la alimentación de rumiantes.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Determinar la composición nutricional y digestibilidad *in situ* del residuo industrial de té de jazmín.

4.2 Objetivos específicos

1. Determinar la humedad, cenizas, la proteína cruda, extracto etéreo y fibra cruda, del residuo de té de jazmín.
2. Determinar la fibra detergente neutra y fibra detergente acida del residuo de té de jazmín.
3. Calcular el total de nutrientes digestibles, energía digestible, energía metabolizable, energía neta de mantenimiento, y energía neta de ganancia en Mcal/kg del residuo industrial de té jazmín.
4. Evaluar la digestibilidad, mediante la técnica de digestibilidad *in situ* del residuo de té de jazmín.
5. Determinar los parámetros de la digestibilidad de materia orgánica y proteína cruda mediante la cinética de degradación del residuo de té de jazmín.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Estrategia de la investigación

Consistió en dos partes, la primera es un estudio observacional, prospectivo, transversal y descriptivo (Méndez *et al.*, 1990). La segunda parte consistió en una prueba de determinación de la digestibilidad *in situ* (Orskov *et al.*, 1980; Orskov y McDonald, 1979).

5.2. Lugar de investigación

Para realizar la investigación, la colección del material vegetal se realizó en una empresa productora de té de jazmín, ubicada en calle Los Altos 80058, Blvd. Valle Alto 1232, Pradera Dorada, Culiacán, Sinaloa; las muestras se llevaron al Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa; mientras que la determinación de taninos se hizo en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD-Culiacán) ubicado en carretera El Dorado Km 5.5, Campo el Diez, 80110, Culiacán Rosales, Sinaloa; y la prueba de digestibilidad *in situ* se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal y la Posta Zootécnica de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicados en entronque carretera Culiacán- El Dorado Km 17, 80000 Culiacán Rosales, Sinaloa.

5.3 Calendarización del muestreo

Cuadro 10. Calendario de muestreo de residuo de té de jazmín.

Mes	Noviembre				Diciembre	
Fecha	Jueves	Viernes	Sábado	Lunes	Martes	Miércoles
	5	13	21	23	1	9
Hora	10:00am	10:00am	10:00am	10:00am	10:00am	10:00am

5.4. Recolección de muestras

La toma de muestras se efectuó en la zona de estacionamiento de la empresa, a un costado del contenedor de residuos orgánicos, un total de seis muestreos se realizaron durante los meses noviembre y diciembre, uno por semana de 10:00 am a 12:00 pm; para determinar la masa de la muestra se utilizó una báscula marca Metaltex con capacidad para 5 kg, dicha muestra de 1200 g fue generada de seis costales de residuo, la selección de la muestra se realizó en diferentes secciones de los costales (arriba, medio y abajo), la muestra fue colocada en bolsas de polietileno con cierre, se identificaron y se trasladaron al Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa para su procesamiento (Montiel, 2020).

Una vez en el laboratorio, la muestra recolectada, se homogeneizó manualmente, se dividió en cuatro partes iguales y se realizó un primer cuarteo, se tomaron dos partes, posteriormente, se realizó un segundo cuarteo, se dividió en cuatro partes iguales y se seleccionó una parte, a partir de la muestra seleccionada, se utilizó una porción para determinar la humedad inicial (Montiel, 2020). El resto de la muestra se secó a 80 °C por 24 horas en una estufa (Fisher, 00034, México), posteriormente se molió en un molino Wiley modelo T4276M con un tamaño de partícula de 2 mm y colocó en un tamizador N° 0.20. Finalmente, la muestra obtenida se empleó para la determinación del análisis químico proximal y se determinaron las siguientes fracciones (A.O.A.C., 1990).

5.5. Determinación de humedad

La determinación de humedad se basa en la pérdida de masa de la muestra por evaporación del agua, siguiendo la metodología 972.2 descrita por la A.O.A.C. (1990). En un recipiente de aluminio lavado previamente se colocó la muestra en una estufa (Fisher, 00034, México) por 2 horas a 80 °C, para eliminar la humedad y conseguir masa constante, después, el recipiente se colocó en un desecador a temperatura ambiente por 8 min. Posteriormente, la masa del recipiente se obtuvo al utilizar una balanza analítica (AND, 27422, E.E.U.U.). Luego, se pesó 0.500 g de muestra fresca y se colocó en el recipiente acondicionado previamente (seco),

después, el recipiente se colocó en la estufa durante 24 horas a 80 °C. Una vez transcurrido el tiempo se enfrió a temperatura ambiente por 8 min en un desecador. La determinación se realizó por triplicado. El contenido de humedad se determinó con la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{m_{mf} - (m_{ms} - m_{cc})}{m_{mf}} 100$$

Donde:

m_{mf} = masa de la muestra fresca (g).

m_{cc} = masa constante de la cápsula (g).

m_{ms} = masa del recipiente con la muestra seca (g).

5.6 Determinación de cenizas

En este método toda la materia orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre los 550-600 °C; el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza, en el presente análisis se utilizó el método 942.05 (A.O.A.C, 1990).

El análisis se realizó por triplicado. Tres crisoles limpios se colocaron en una estufa (Fisher, 00034, México) por 2 h a 80 °C, para eliminar la humedad y conseguir masa constante, después, los crisoles se colocaron en un desecador a temperatura ambiente por 8 min, posteriormente, cada uno de los crisoles se pesaron en una balanza analítica (AND, 27422, EUA). Se pesó 0.500 g y se colocó en el crisol correspondiente, después, se colocó en la mufla (FELISA, modelo fe - 330) a una temperatura constante de 600 °C durante 2 h. Posteriormente, se enfriaron las muestras, se colocaron en un desecador a temperatura ambiente por 8 min y se procedió a pesar, los resultados se obtuvieron mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ceniza (\%)} = \frac{m_{ms} - m_{cc}}{m_{mf}} 100$$

Donde:

m_{mf} = masa de la muestra inicial (g).

m_{cc} = masa constante del crisol (g).

m_{ms} = masa del crisol con la muestra seca (g).

5.7 Determinación de extracto etéreo

Para este análisis la muestra se somete a una extracción semicontinua con disolvente, donde una cantidad de disolvente rodea la muestra y se calienta a ebullición, en este análisis se utilizó el método 996.06 de la A.O.A.C (1990), para este procedimiento se utilizaron tres vasos de vidrio de 250 mL, tres dedales previamente lavados y secados en estufa (Fisher, 00034, México), los vasos se rotularon, se pesaron una balanza analítica (AND, 27422, EUA), la masa se registró en la bitácora, luego se pesaron 0.500 g de la muestra y se añadió dicha cantidad en cada dedal, cada dedal fue tapado con una capa de algodón, después los dedales fueron colocados en el extractor de grasa (Labconco, catálogo 3500, serie 68563, Kansas City, MO), se añadió 30 mL de éter de petróleo en cada vaso y , se sellaron para evitar que se volatizara el solvente. Una vez hecho esto se encendió el extractor, la bomba del agua y se esperó que iniciara el goteo del éter, la muestra permaneció a una temperatura constante de 100 °C para apagar el equipo, después se dejó enfriar cada vaso por 10 min, se retiró el sobrante del éter en una recipiente de recolección, a continuación se dejaron los vasos en la estufa por 12 horas a 80 °C, después de haber pasado este tiempo se sacaron los vasos y se colocaron dentro de un desecador para enfriar por 8 min, posteriormente se procedió a pesar y registrar la masa en la bitácora, la determinación se realizó por triplicado, para obtener los resultados se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Grasa (\%)} = \frac{m_{ms} - m_{cc}}{m_{mf}} 100$$

Donde:

m_{mf} = masa de la muestra inicial (g).

m_{cc} = masa constante del vaso (g).

m_{ms} = masa del vaso con la muestra de grasa (g).

5.8 Determinación de proteína cruda

En este análisis se somete a la muestra a diferentes reactivos y pasos. Digestión: en este caso el objetivo del procedimiento de digestión es romper todos los enlaces de nitrógeno de la muestra y convertir todo el nitrógeno unido orgánicamente en iones amonio (NH_4^+). El carbono orgánico y el hidrógeno forman dióxido de carbono y agua. En este proceso la materia orgánica se carboniza dando lugar a una espuma negra, la espuma se descompone y finalmente se convierte en un líquido claro que indica que la reacción química ha terminado.

Destilación: Durante el proceso de destilación los iones amonio (NH_4^+) se convierten en amoniaco (NH_3) mediante la adición de un álcali (NaOH). El amoniaco (NH_3) es arrastrado al vaso receptor por medio de una corriente de vapor de agua; y la titulación con una solución de ácido clorhídrico 0.1 N.

Este análisis se realizó bajo los principios del método 954.01 de la A.O.A.C (1990), para el análisis de proteína se necesitó tres matraces Kjeldahl de 750 mL previamente lavados y secados, en un papel se pesaron sobre una balanza analítica (AND, 27422, EUA) 0.500 g de la muestra y 3 g de catalizador para cada matraz, posteriormente la muestra envuelta se deposita dentro del matraz, después se enciende el digestor (Novatech, modelo k-j6c, serie 58700) y el extractor de gases, a continuación se añadió 100 mL de ácido sulfúrico al 98% y se colocó cada matraz en una parrilla, después de haber puesto los matraces en la parrilla se esperó hasta que la muestra tomara un color verde claro (este proceso tardó entre 30 a 40 min), una vez que la muestra tomo un color verde claro se apagó el digestor y se dejó enfriar cada matraz por 15 min, para esto se recomienda cambiarlos de parrilla, una vez que pasaron los 15 min se llevaron a una campana de extracción para acelerar el proceso de enfriado, posteriormente se añadió 100 mL de agua destilada y se dejó enfriar de nuevo en la campana de extracción por 15 a 20 min, después se necesitó tres matraces Erlenmeyer a los cuales se le añadió 50 mL de ácido bórico al 4% y tres gotas de indicador de azul de metileno, posteriormente se añade a cada matraz Kjeldahl 3 a 4 gránulos de zinc sin que llegaran al fondo, luego se añade 40 mL de hidróxido de sodio al 40 % tratando de arrastrar el zinc que había quedado en el cuello del matraz, después se colocó cada matraz en el

digestor pero en esta ocasión en la parte de destilación conectando cada matraz Kjeldahl con el matraz Erlenmeyer y se dejó calentar hasta obtener los 150 mL en el matraz Erlenmeyer o hasta que el matraz Kjeldahl comenzara a brincar, posteriormente se apagó el digestor pero no el extractor, luego el matraz Erlenmeyer se llevó a la bureta para hacer la titulación donde la bureta fue llenada con ácido clorhídrico al 0.1 N, se introdujo un magneto en el matraz y se comenzó a agitar dejando caer gota tras gota hasta alcanzar un color azul o morado claro, la determinación se realizó por triplicado, para obtener los resultados se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Proteína cruda (\%)} = \frac{\text{Vol. HCl} \times 0.1 \times 0.014 \times 6.25}{m_{mf}} 100$$

Donde:

m_{mf} = masa de la muestra inicial (g).

Vol. HCl = volumen gastado del ácido clorhídrico (mL).

5.9 Determinación de fibra cruda

La determinación de fibra cruda se realizó a partir de la metodología 962.09 de la A.O.A.C. (1990). La metodología se basa en la extracción secuencial de los componentes que no forman parte de la fibra (proteínas y carbohidratos asimilables, con ácido diluido (H_2SO_4 1.25%) y álcali diluido (NaOH 1.25%) y posterior aislamiento del residuo insoluble (fibra cruda) mediante filtración, en un vaso Berzelius de 600 mL se colocaron 0.500 g de la muestra, luego se añadió 100 mL de ácido sulfúrico al 1.25%. Después, se colocó en la parrilla del digestor (Labconco, 3500, EUA) durante 30 min, el tiempo se contabilizó a partir de la ebullición de la muestra, posteriormente, la muestra se filtró, en papel filtro Whatman # 4 se colocó en un embudo conectado a una bomba de vacío, se encendió, y la muestra se añadió al embudo, los sólidos se mantuvieron en el papel y el líquido fue desechado, se realizaron lavados con agua destilada para arrastrar todos los sólidos al papel. Posteriormente, se agregaron 100 mL de hidróxido de sodio al 1.25%, mismo que se utilizó para trasladar los sólidos del papel al vaso, la muestra se colocó en la parrilla del digestor y se realizó la digestión alcalina durante 30 minutos, después

se filtró la muestra en un papel filtro previamente secados y rotulados, los restos de sólidos en el vaso fueron arrastrados con agua destilada, el papel filtró se colocó en una estufa (Fisher, 00034, México) por 12 horas a 80 °C, posteriormente el papel filtro con la muestra seca se colocó en un desecador durante 8 minutos previo a su pesaje, se realizó por triplicado y la determinación se realizó con la siguiente ecuación:

$$\text{Fibra (\%)} = \frac{m_{ms} - m_{cc}}{m_{mf}} 100$$

Donde:

m_{mf} = masa de la muestra inicial (g).

m_{cc} = masa del papel filtro (g).

m_{ms} = masa del papel filtro con la muestra procesada (g).

5.10 Determinación de extracto libre de nitrógeno

El extracto libre de nitrógeno (ELN) es una mezcla de almidones y azúcares de la muestra más hemicelulosa y lignina, puede contener además vitaminas hidrosolubles, para su determinación se requiere tener el porcentaje de humedad, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo y fibra (Medina-Saavedra *et al.*, 2018), para obtener los resultados se empleó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ ELN} = 100 - (\% \text{ H} + \% \text{ CEN} + \% \text{ PC} + \% \text{ EE} + \% \text{ FC})$$

Donde:

H= % Humedad

CEN= % Material mineral o cenizas

PC= % Proteína cruda

EE= % Extracto etéreo

FC= % Fibra cruda

5.11 Cálculo del total de nutrientes digestibles y energías netas

Una vez que se tuvieron los datos de humedad, cenizas, fibra cruda, extracto etéreo y proteína cruda, con ayuda del Software Aries™ se obtuvo los valores del total de nutrientes digestibles, energía digestible, energía metabolizable, energía

neta de mantenimiento y energía neta de ganancia (Aries, 1997), con base a las siguientes fórmulas (NRC, 2001).

$$\text{TND \%} = \text{PCD} + \text{ELND} + \text{FCD} + (\text{EED} \times 2.25)$$

$$\text{ED (Mcal/kg)} = 0.04409 \times \text{TDN (\%)}$$

$$\text{EM (Mcal/kg)} = 1.01 \times \text{DE (Mcal/kg)} - 0.45$$

$$\text{EN}_m = 1.37 \text{ ME} - 0.138 \text{ ME}^2 + 0.0105 \text{ ME}^3 - 1.12$$

$$\text{EN}_g = 1.42 \text{ ME} - 0.174 \text{ ME}^2 + 0.0122 \text{ ME}^3 - 1.65$$

Donde, TND= total de nutrientes digestibles; PCD= proteína cruda digestible; ELND= extracto libre de nitrógeno digestible; FCD= fibra cruda digestible; EED= extracto etéreo digestible; ED= energía digestible; EM=energía metabolizable; EN_m energía neta de mantenimiento; EN_g energía neta de ganancia

5.12 Determinación de fibra detergente

El análisis de la fibra detergente nos ayuda a determinar el contenido de las células vegetales ya que se pueden dividir en paredes celulares menos digestibles que se componen por hemicelulosa, celulosa y lignina y los contenidos celulares que son altamente digeribles compuestos por almidón y azúcares, los compuestos altamente digeribles pueden ser separados de las paredes celulares utilizando dos métodos detergentes diferentes que son la fibra detergente neutro y fibra detergente ácido. (Van Soest, 1963).

5.12.1 Fibra detergente neutra (FDN)

Con este método se determina la fibra detergente neutra, siendo este el residuo que queda después de digerir en una solución detergente, en este residuo predomina la hemicelulosa, celulosa y lignina, y es aplicable a cereales, piensos, forrajes y todo material fibroso.

Equipos utilizados:

1. Balanza analítica, (AND, 27422, EUA).
2. Estufa (Fisher, 00034, México)

3. Digestor de fibra: (ANKOM2000 con agitación de 65 rpm, tecnología ANKOM).

4. Bolsas filtrantes: hechas con medios filtrantes químicamente inertes y resistentes al calor, capaces de ser selladas con calor y retener partículas de 25 micras mientras permiten la penetración de la solución (F57 y F58, tecnología ANKOM).

5. Sellador térmico

6. Desecador.

7. Rotulador resistente a solventes y ácidos.

Reactivos:

1. Solución de detergente neutro: 30 g de dodecilsulfato de sodio (USP), 18,61 g de sal disódica etilendiaminotetraacética (deshidratada), 6,81 g de borato de sodio, 4,56 g de fosfato de sodio dibásico (anhidro) y 10,0 ml de trietilenglicol a 1 L de H₂O destilada (premezcla química). solución de ANKOM Technology). Se comprueba que el pH esté entre 6.9 y 7.1. Se agita y calienta para ayudar a la solución.

2. Alfa-amilasa: Alfa-amilasa bacteriana termoestable: actividad = 17,400 Unidades de Liquefon/ml (tecnología FAA, ANKOM).

3. Sulfito de sodio: Na₂SO₃, anhidro.

Las muestras se trituraron en un molino tipo cortador (Wiley) y se pasó por un tamizador de 2 mm.

Procedimiento de FDN:

Se utilizó un marcador resistente a disolventes para etiquetar las bolsas de filtro que se utilizaron en el análisis, posteriormente se pesó y registró el peso de cada bolsa de filtro vacía (W1) y se taró, se colocaron 0.450 a 0.500 g de muestra (triplicado por cada muestreo) se registró el peso (W2) de cada una. Se incluyó una bolsa vacía en la ejecución para determinar la corrección de la bolsa en blanco (C1), ya que se debe utilizar un factor de corrección de bolsa en blanco promedio móvil (C1) en el cálculo de la fibra, la inclusión de la bolsa blanco en cada ejecución se utiliza principalmente como indicador de pérdida de partículas.

Con un sellador térmico, se sellaron completamente cada bolsa de filtro cerrada dentro de los 4 mm de la parte superior para encapsular la muestra, usando suficiente calor y dejando enfriar suficiente tiempo (2 segundos) antes de levantar el brazo del sellador térmico para sacar cada bolsa, se extendió la muestra uniformemente dentro de las bolsas de filtro agitando y moviéndolas.

Se colocaron dentro de las bandejas de suspensión de bolsas (máximo de 24 bolsas) y posteriormente en el poste central del suspensor de bolsas con cada nivel girado 120 grados en relación con la bandeja anterior, la última bandeja se colocó vacía, ya que todas las bandejas deben usarse independientemente del número de bolsas que se procese, una vez realizado este proceso, se verificó que la manguera de escape esté conectada al instrumento y colocada de manera segura en el drenaje, se colocó el interruptor de encendido del instrumento en la posición ON, se abrió la tapa del recipiente y se insertó el suspensor de bolsa con bolsas en el recipiente, además, se colocó el peso sobre de la novena bandeja vacía para mantener sumergido el suspensor de bolsas, se agregó 2 L de solución detergente ácida, 20 g de sulfito de sodio y 4 mL de alfa-amilasa a temperatura ambiente al recipiente del analizador de fibra, se encendió la función agitar y calentar, se confirmó la agitación, se programó el temporizador en 75 minutos y se cerró la tapa. Una vez completada la extracción, se apagó la función calentar y agitar, se abrió la válvula de drenaje (lentamente al principio) y se extrajo la solución caliente antes de abrir la tapa del recipiente, debido a que la solución en el recipiente está bajo presión, es necesario abrir la válvula de escape para liberar la presión y la solución antes de abrir la tapa del recipiente, ya que se extrajo la solución, cerramos la válvula de escape y se abrió la tapa del recipiente agregando 2 L de agua de enjuague a 70-90 °C y 4 mL de alfa-amilasa al primer y segundo enjuague, se encendió la función agitar durante 5 minutos en un total de 3 enjuagues. Una vez finalizados los procedimientos de enjuague, abrimos la tapa del recipiente, se retiraron las bolsas de filtro, se exprimió suavemente el exceso de agua, se colocaron en un vaso de precipitado de 250 mL, se agregó suficiente acetona para cubrir las bolsas y se dejaron en remojo durante 3-5 minutos, posteriormente se colocaron en una bandeja de aluminio para que se sequen a temperatura ambiente,

se dejaron secar completamente en un horno a 102 ± 2 °C de 2-4 horas. Se retiraron las bolsas de filtro del horno y se colocaron inmediatamente en el desecador para que se enfríen y poder pesarlas, para obtener el valor de porcentaje de fibra detergente ácido, con la siguiente formula:

$$FDN(\%) = \frac{(W3 - (w1xC1))}{W2} X100$$

Donde:

W1= Peso de tara de la bolsa

W2= Peso de la muestra

W3= Peso seco de la bolsa con fibra después del proceso de extracción.

C1= Corrección de la bolsa en blanco (promedio móvil del peso final secado al horno dividido por el peso de la bolsa en blanco original) (Van Soest, 1994; ANKOM, 2005).

5.12.2 Fibra detergente ácida (FDA)

Este método determina la fibra de detergente ácido, que es el residuo que queda después de digerir con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y Cetil Trimetil Amonio Bromuro (CTAB), los residuos de fibra son predominantemente celulosa y lignina.

Aparatos utilizados:

Equipos utilizados:

1. Balanza analítica, (AND, 27422, EUA).
2. Estufa (Fisher, 00034, México)
3. Digestor de fibra: (ANKOM 2000 con agitación de 65 rpm, tecnología ANKOM).
4. Bolsas filtrantes: hechas con medios filtrantes químicamente inertes y resistentes al calor, capaces de ser selladas con calor y retener partículas de 25 micras mientras permiten la penetración de la solución (F57 y F58, tecnología ANKOM).
5. Sellador térmico.
6. Desecador.
7. Rotulador resistente a solventes y ácidos

Reactivos:

Solución de detergente ácido: 20 g de (CTAB) a 1 L 1.00 N de H_2SO_4 previamente estandarizado. Las muestras se trituraron en un molino tipo cortador (Wiley) y se pasó por un tamizador de 2 mm.

Procedimiento de FDA

Se utilizó un marcador resistente a disolventes para etiquetar las bolsas de filtro que se utilizaron en el análisis, posteriormente se pesó y registró el peso de cada bolsa de filtro vacía (W1) y se taró, se colocaron 0.450 a 0.500 g de muestra preparada (triplicado por cada muestreo) se registró el peso (W2) de cada una. Se incluyó una bolsa vacía en la ejecución para determinar la corrección de la bolsa en blanco (C1), ya que se debe utilizar un factor de corrección de bolsa en blanco promedio móvil (C1) en el cálculo de la fibra, la inclusión de la bolsa blanco en cada ejecución se utiliza principalmente como indicador de pérdida de partículas.

Con un sellador térmico, se sellaron completamente cada bolsa de filtro, cerrada dentro de los 4 mm de la parte superior para encapsular la muestra, usando suficiente calor y dejando enfriar suficiente tiempo (2 segundos) antes de levantar el brazo del sellador térmico para sacar cada bolsa, se extendió la muestra uniformemente dentro de las bolsas de filtro agitando y moviéndolas.

Se colocaron dentro de las bandejas de suspensión de bolsas (máximo de 24 bolsas) y posteriormente en el poste central del suspensor de bolsas con cada nivel girado 120 grados en relación con la bandeja anterior, la última bandeja se colocó vacía, ya que todas las bandejas deben usarse independientemente del número de bolsas que se procese, una vez realizado este proceso, se verificó que la manguera de escape esté conectada al instrumento y colocada de manera segura en el drenaje, se colocó el interruptor de encendido del instrumento en la posición ON, se abrió la tapa del recipiente y se insertó el suspensor de bolsa con bolsas en el recipiente, además, se colocó el peso del suspensor de bolsa encima de la novena bandeja vacía para mantener sumergido el suspensor de bolsas; se agregó 2 L de solución ácido detergente a temperatura ambiente al recipiente del analizador de fibra, se encendió la función agitar y calentar, se confirmó la agitación, se programó el temporizador en 60 minutos y se cerró la tapa. Una vez completada la

extracción, se apagó la función calentar y agitar, se abrió la válvula de drenaje (lentamente al principio) y se extrajo la solución caliente antes de abrir la tapa del recipiente, debido a que a solución en el recipiente está bajo presión, es necesario abrir la válvula de escape para liberar la presión y la solución antes de abrir la tapa del recipiente, ya que se extrajo la solución, cerramos la válvula de escape y se abrió la tapa del recipiente agregando 2 L de agua de enjuague a 70-90 ° C, se encendió la función agitar durante 5 minutos, repitiendo este procedimiento 2 veces más y justo antes de drenar el tercer enjuague, se evaluó pH del agua, debido a que se debería repetir el enjuague si continuaba ácido. Una vez finalizados los procedimientos de enjuague, abrimos la tapa del recipiente, se retiraron las bolsas de filtro, se exprimó suavemente el exceso de agua de las bolsas, se colocaron en un vaso de precipitado de 250 mL, se agregó suficiente acetona para cubrir las bolsas y se dejaron en remojo durante 3-5 minutos, posteriormente se colocaron en una bandeja de aluminio para el secado a temperatura ambiente, se dejaron secar completamente en un horno a 102 ± 2 °C de 2-4 horas. Se retiraron las bolsas de filtro del horno y se colocaron inmediatamente en el desecador para enfriado y pesaje, para obtener el valor de porcentaje de fibra detergente ácido, con la siguiente formula:

$$FDA(\%) = \frac{((W3 - (w1xC1))}{W2} X100$$

Donde:

W1= Peso de tara de la bolsa

W2= Peso de la muestra

W3= Peso seco de la bolsa con fibra después del proceso de extracción.

C1= Corrección de la bolsa en blanco (promedio móvil del peso final secado al horno dividido por el peso de la bolsa en blanco original) (Van Soest, 1994; ANKOM, 2005).

5.13 Determinación de taninos

Se formó una muestra compuesta de los 6 muestreos, una vez obtenida la muestra se obtuvieron 3 submuestras, las cuales fueron evaluadas por triplicado cada una (n=9).

Extracción y cuantificación de taninos.

El proceso se divide en 3 etapas: la determinación de taninos totales, taninos condensados y taninos hidrolizables. Para la obtención de taninos totales (TT) mediante la metodología establecida por Barman (2004), se utilizó como reactivo polivinylpirrolidona (PVPP), agua destilada y de equipos, balanza analítica, vórtex, lector de Microplatos modelo Synergy HT, centrifuga eppendorf y refrigerador a 4°C. Para el procesamiento de las muestras el primer paso fue la precipitación de taninos con PVPP, para eso se pesaron 100 mg de PVPP en un tubo de eppendorf, se añadió 1 mL de agua destilada, 1 mL del extracto diluido a evaluar, se agitaron en vórtex, se mantuvo en refrigeración (4 °C) durante 15 minutos, se agitó nuevamente y se centrifugó (3500 xg, 4 °C, 5min), se colectó el sobrenadante y determinó el contenido de compuestos fenólicos (compuestos no taninos) mediante el ensayo de Folin Ciocalteu. Los taninos (TT) se obtienen por diferencia, primero es necesario determinar el contenido de compuestos fenólicos mediante el ensayo de Folin Ciocalteu y posteriormente a ese valor se resta el contenido de fenólicos no taninos con la siguiente fórmula.

$$TT = CF - CNT$$

Donde:

TT= taninos totales

CF= compuestos fenólicos

CNT= compuestos fenólicos no taninos

Para la obtención de taninos condensados (TC) de acuerdo a Heil *et al.* (2002), se utilizó como reactivo dimetilaminocinamaldehido (DMCA), metanol, ácido clorhídrico (HCl), y de equipos la curva de catequina 0-0.4 mg/mL, balanza analítica, vortex y lector de microplatos modelo Synergy HT. Para la preparación de Solución de DMCA 0.1%: se pesó 0.015 g DMCA, y se disolvió en 13.5 mL metanol y se añadió 1.5 mL de HCl, además se utilizó solución stock de catequina (0.4 mg/mL): para eso se pesó 0.02 g de catequina y aforó a 50 mL de metanol, el proceso se realizó tomando 20 µL del extracto a evaluar y se depositaron en 96 pozos, se añadieron 200 µL de la solución de DMCA 0.1 %, se dejó reposar durante 5 minutos a temperatura ambiente para leer la absorbancia a 640 nm, una vez realizado este

procedimiento, se determinó la concentración de taninos condensados a partir de una curva de calibración estándar de catequina. Los taninos hidrolizables se obtienen por diferencia, restando el contenido de taninos condensados al contenido de taninos totales con la siguiente fórmula (Barman, 2004).

$$TH = TT - TC$$

Donde:

TH = taninos hidrolizables

TT = taninos totales

TC = taninos condensados

Para TT , TC y TH se obtuvieron los valores expresados en mg/g, sin embargo, para el manejo de información en el cuadro se convirtieron a porcentaje.

5.14 Digestibilidad *in situ*

La digestibilidad *in situ* del residuo se estimó siguiendo la metodología descrita por (Orskov *et al.*, 1980). Se utilizaron 2 toros con un peso vivo (PV) de 573.5 kg en promedio, este peso fue estimado con la fórmula establecida por (Wangchuk *et al.*, 2018).

$$PV \text{ kg} = \frac{PT \times PT \times LC}{10838}$$

Donde:

PV = peso vivo

PT = perímetro torácico

LC = largo del cuerpo

Estas medidas se obtuvieron con ayuda de una cinta métrica, el PT se obtuvo midiendo la circunferencia del tórax a la altura inmediatamente posterior a la escápula, mientras que el LC se obtuvo midiendo desde la punta del anca, hasta la punta del hombro; ya que no se contaba con una báscula.

Ambos toros de encaste *Bos taurus* x *Bos indicus*, provistos de una fístula ruminal permanente, los animales se alimentaron con una dieta que pasara los requerimientos de mantenimiento a base de forraje (paja de maíz y alfalfa), maíz

molido, residuo de té de jazmín, aceite de cocina y minerales como se muestra en el cuadro 11. Los toros se alojaron en corrales individuales y se les proporcionó agua a libre acceso y alimento en cantidad correspondiente al 3% de su peso vivo durante el periodo de adaptación (12 días) y 2% en los días de prueba para facilitar el manejo de las bolsas de *nylon* en el rumen.

Cuadro 11. Dieta suministrada a los toros durante la prueba de digestibilidad *in situ*.

Ingrediente	% de inclusión
Alfalfa	10
Rastrojo de maíz	45
Residuo de té de jazmín	30
Maíz molido	10
Aceite de cocina usado	5
Aporte nutricional	
Energía metabolizable (Mcal/kg)	Proteína cruda %
2.27	14.6

En cada bolsa se agregó 10 gramos de residuo de té de jazmín secado en estufa y molido en criba de 2 mm, se colocaron en la parte ventral del rumen para evaluar los tiempos 0, 3, 6, 12, 18, 24, 36, 48 y 72 horas, por triplicado de cada tiempo, las muestras fueron introducidas en orden inverso al tiempo de incubación para ser retiradas posteriormente todas en conjunto. Para la introducción de las bolsas al rumen se alojaron dentro de un morral provisto de jareta y rafia guía, además por cada triplicado se colocaba un contrapeso para ayudar a que permanezcan en la parte ventral del rumen. Luego de las 72 horas se retiraron las bolsas, se lavaron con agua corriente junto con las muestras del tiempo 0, se secaron en estufa a 60°C de temperatura hasta obtener peso constante y así evaluar la digestibilidad ajustando los datos a la ecuación $P = a + b(1 - e^{-ct})$, siendo P el porcentaje de degradación de CP o MS. La fórmula considera dos fracciones en el alimento: donde a es la fracción soluble (o rápidamente degradada), b fracción potencialmente degradable, c es la tasa de degradación de la fracción b en el rumen y t el tiempo, descrita por Orskov & McDonald, (1979).

5.15 Análisis estadístico

La agrupación de datos obtenidos de cada variable en esta investigación fue sometida a una prueba de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y resumida mediante un análisis descriptivo utilizando a la media como medida de tendencia, la desviación estándar como medida de variabilidad, además, se presentan los valores mínimos y máximos obtenidos mediante el paquete estadístico Minitab 18 (Minitab, 2018).

Los parámetros de degradación in situ se estimaron mediante un proceso iterativo de mínimos cuadrados, con el modelo de regresión no lineal propuesto por Ørskov y McDonald (1979): $d = a + b(1 - e^{-ct})$ donde d = degradabilidad a tiempo, t = tiempo de incubación, a = fracción soluble; b = fracción insoluble pero potencialmente degradable (%), y c = tasa de degradación de “ b ” y $a+b$ = potencial de degradabilidad. Los valores de degradación a tiempo se obtuvieron calculando la media de las 6 bolsas de nylon de ambos toros, la curva de degradación y los parámetros de digestibilidad fueron obtenidos con el software R (R Development Core Team, 2014) con los comandos PLOT, NLS y la función PREDICT.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de la composición nutricional del residuo de té de jazmín se muestran en el cuadro 12, donde se puede observar el promedio para cada nutriente, junto a su desviación estándar que presenta valores elevados para las fracciones de fibra detergente, tanto ácido como neutra; al hacer la prueba de normalidad para cada nutriente, las cenizas, proteína cruda, fibra cruda, fibra detergente neutra y taninos condensados, tienen una distribución normal ($p>0.15$).

Cuadro 12. Composición nutricional de residuos de té de jazmín, porcentaje en base seca.

Variable	Media	DE ¹	Mínimo	Máximo
Humedad	80.22	0.83	77.77	81.84
Cenizas	5.34	0.36	4.54	5.91
Extracto etéreo	2.42	0.18	2.16	2.76
Proteína cruda	20.19	0.49	19.6	21.18
Fibra cruda	30.5	1.69	27.37	33.49
Fibra detergente neutra	65.61	2.7	61.11	71.41
Fibra detergente ácida	49.01	2.47	44.09	51.69
Taninos condensados*	0.15	0.06	0.14	0.16
Taninos hidrolizables*	0.32	1.08	0.2	0.53
TND ²	56.54			
ED ³ (Mcal/kg)	2.49			
EM ⁴ (Mcal/kg)	2.04			
ENm ⁵ (Mcal/kg)	1.19			
ENg ⁶ (Mcal/kg)	0.74			

1: Desviación estándar; 2: total de nutrientes digestibles; 3: energía digestible; 4: energía metabolizable; 5: energía neta de mantenimiento; 6: energía neta de ganancia; n= 18,*n=9

Se puede observar los valores mínimos y máximos para cada nutriente, el rango que hay en esos valores aumenta conforme lo hace la desviación estándar de los nutrientes que tuvieron los valores más elevados.

El 80 % de humedad se asemeja a con 79.6 % en residuos de té verde reportado por Kondo *et al.* (2004); Kondo *et al.* (2007); Wang *et al.* (2011) y Xu *et al.* (2007), esto debido a que es un subproducto industrial para la elaboración de una bebida, por lo tanto, las hojas de té verde que fueron secadas hasta un 95 % de materia seca tienen que ser vertidas en agua (Ramdani *et al.*, 2013); el valor obtenido de cenizas fue 5.34 %, que es mayor a 3.2 % reportados en residuos de té verde (Kono, 2000; Nishida *et al.*, 2006; Kondo *et al.*, 2007), sin embargo, no se determinó el contenido de minerales presentes, al respecto, se han reportado presencia de calcio, fósforo, magnesio y manganeso principalmente, también, hierro, sodio, cobre, zinc, níquel, cromo y plomo en residuos de té verde (Ramdani *et al.*, 2013); el extracto etéreo que mostró un valor de 2.42 %, es menor a 4.9 % (Kono, 2000; Nishida *et al.*, 2006; ; Xu *et al.*, 2007), pero similar a 2.3 % reportado por Wang *et al.* (2011) en residuos de té verde; mientras que el contenido de proteína cruda obtenido (20.19 %), es superior a 16.6 % encontrado en cubos de heno alfalfa (Kondo *et al.*, 2007), y 17.88 % en heno de alfalfa (Ghadami *et al.*, 2019), además, es inferior a 30.2 % reportado en residuos de té verde en diferentes estudios (Kono, 2000; Kondo *et al.*, 2004; Kondo *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2007; Nishida *et al.*, 2006).

La fibra cruda con 30.5 % supera 17.8 % reportado por Kono (2000) y Nishida *et al.* (2006), sin embargo, al analizar sus principales fracciones que son la fibra detergente neutra y ácida, la fibra detergente neutra obtenida (65.61 %) es superior a 36.2 % reportado en residuos de té verde (Kondo *et al.*, 2004; Nishida *et al.*, 2006; Kondo *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2011), con una diferencia de 29.41 % al compararlo con nuestro resultado en los residuos de té de jazmín; la fibra detergente ácida de 49.01 % también fue mayor a 27.9 % (Kondo *et al.*, 2004; Nishida *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2011), pero con una diferencia de 21 % comparado al valor

encontrado en este estudio, el valor de taninos condensados (0.15 %) es inferior a 1.35 % (Kondo *et al.*, 2007) y más aún a 9.1 % (Kondo *et al.*, 2004) reportados de residuos de té verde, mientras que el contenido de taninos hidrolizables (0.32 %) es similar a 0.30 % reportado por Kondo *et al.* (2007).

La calidad encontrada en algunos subproductos de plantas que son procesadas por la industria alimenticia puede ser heterogénea; su composición nutricional depende del método de recolección y procesamiento, además, de la variación que puede haber en la proporción de hoja-tallo, también el grosor del tallo en los residuos de té, afectan la proporción fibrosa, y las concentraciones de compuestos antinutricionales, afectando directamente la digestibilidad y palatabilidad del residuo (Zahedifar *et al.*, 2019); una vez concluido el proceso de elaboración de bebidas de té, las hojas utilizadas se recolectan como residuos insolubles o productos de desecho, la mayoría de los componentes solubles se liberan en la bebida, pero se sabe que el desecho retiene cantidades razonables de proteína, fibra, lípidos, minerales y compuestos fenólicos, es por ello que se ha estudiado desde hace tiempo su uso potencial como ingrediente en la alimentación de rumiantes (Kondo *et al.*, 2004; Kondo *et al.*, 2007; Xu *et al.*, 2007).

Ramdani *et al.* (2013) reportó que la proporción de agua puede cambiar significativamente la mayoría de los componentes solubles de las hojas de té al preparar la bebida, la ceniza reduce 26.5 %, taninos totales 38.2 % y taninos condensados 40.3 % mientras que se observó un aumento de 5 % en la proteína cruda, 10.6 % en extracto etéreo, 49.8 % en fibra detergente neutra y 36.4 % para la fibra detergente ácida.

Para los valores de energía, en el caso de la energía digestible (2.49 Mcal/kg) es similar a forrajes frescos como el sudán (2.47 Mcal/kg), alfalfa (2.56 Mcal/kg) y a ensilados de maíz y de sudán (2.43 Mcal/kg) (NRC, 2001).

Los resultados de la digestibilidad *in situ* se resumen en el cuadro 13, en el cual se observa como la degradación de la materia seca aumentó conforme avanza el tiempo, donde a partir de la hora 36 el porcentaje de degradación disminuye, mientras que la digestibilidad para la proteína cruda se ve reflejada hasta la hora 36 con 4.8 % y 17.5 % para la hora 72.

Cuadro 13. Digestibilidad *in situ* de materia seca (MS) y proteína cruda (PC) del residuo de té de jazmín y parámetros de degradación, n=6/tiempo (%).

Tiempo (horas)	Degradación MS	Degradación PC
0	7.64	0
3	9.7	0
6	14.06	0
12	24.49	0
18	33.55	0
24	39.26	0
36	45.97	4.8
48	48.03	6.6
72	50.63	17.5

Parámetros de digestibilidad		
Soluble (a)	4.73	
Potencialmente digestible (b)	48.66	-
Potencial de degradabilidad (a+b)	53.4	-
Tasa de degradación (c)	0.05	-

Al agregar los datos a la ecuación para obtener los parámetros de la cinética de degradación, la materia seca muestra una degradación de 53.40 % con una tasa de degradación de 0.05; mientras que los datos para proteína cruda no fueron adecuados para que mediante el proceso iterativo realizado por el software R se pudieran encontrar sus parámetros de degradación. También se ajustaron los valores de la degradación de la materia seca a una curva (figura 7).

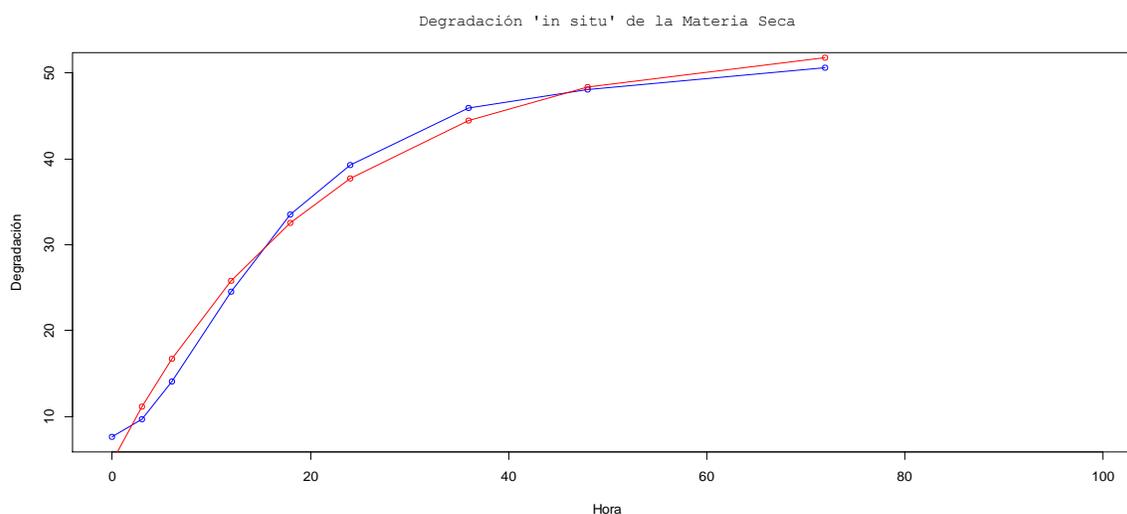


Figura 7. Degradación *in situ* de la materia seca

Considerando que las fracciones digeribles de proteína cruda y fibra detergente neutra están relacionados con el contenido de energía disponible en los alimentos, los valores obtenidos de energía pueden ser sobreestimados ya que la proteína mostró una digestibilidad baja (NRC, 2001), esto puede indicar, que la actividad enzimática microbiana responsable de la degradación de la proteína cruda presente en el residuo de té de jazmín no es efectiva en el rumen, o bien, puede tratarse de proteínas de sobrepaso (Gojon-Báez *et al.*, 1998) y que su absorción sea eficiente a nivel post-ruminal (Kondo *et al.*, 2004), se ha reportado que la presencia de taninos en el residuo de té verde puede influir en la degradación a nivel ruminal, ya que al evaluar de manera *in vitro* el residuo de té verde, hay una degradación de 43.5 % del total de la proteína cruda cuando el contiene 1 % de taninos condensados, al sumar la digestibilidad post-ruminal de proteína cruda se incrementa a 83.5 % dejando como evidencia que aproximadamente el 50 % de la proteína total del residuo de té verde se degrada después de su paso en el rumen (Kondo *et al.*, 2004), al respecto, se sugiere que los contenidos de taninos condensados de 5 a 10 % pueden resultar en baja palatabilidad de los alimentos, reduce el consumo de forraje y la ganancia de peso vivo, disminuyen la digestibilidad, afectando el rendimiento productivo, además, puede provocar efectos relacionados con toxicidad (Kamalak *et al.*, 2005), por lo que puede no haber efecto con 0.15 % de taninos condensados encontrado en este estudio.

Se han utilizado los residuos de té verde en la alimentación de rumiantes donde se muestran mejoras ($p < 0.05$) o que no hay diferencia significativa en la digestibilidad de la ración totalmente mixta respecto a la dieta testigo ($p > 0.05$) con valores que van desde 67 % a 91 % para la materia seca, 43.5 % a 96 % para la proteína cruda y 58 % a 92 % para fibra detergente neutra con porcentajes de inclusión de 5 a 30 % y 100 % (Kondo *et al.*, 2004; Xu *et al.*, 2008; Kondo *et al.*, 2007; Suto *et al.*, 2007). Además, forrajes de uso común en la alimentación de rumiantes como ensilado de maíz muestran digestibilidades *in situ* de 55 % hasta 82 % para la materia seca, 54 % para rastrojo de maíz y el heno de alfalfa de 58 % a 73 %, y para la proteína cruda el rastrojo de maíz tiene una degradación solo de 37 % mientras que la alfalfa puede tener una degradación desde 53 % a 64 %, sin

embargo, la digestibilidad de proteína cruda de la alfalfa puede aumentar 38 % después de su paso por el rumen por (Kondo *et al.*, 2007). De acuerdo a la clasificación de los alimentos según Crampton y Harris (1979) este residuo se puede considerar en la categoría de forrajes secos y alimentos toscos.

VII. CONCLUSIONES

El contenido de proteína cruda del residuo de té es de 20.19 %, fibra detergente neutra 65.61 %, taninos condensados es de 0.15 %, la digestibilidad de la materia seca es de 50.63 % y de la proteína cruda 17.5 %, el residuo de té de jazmín es una opción viable como fuente de fibra.

Se recomienda profundizar en los trabajos de digestibilidad post-rumen para realizar una propuesta para su uso en la alimentación de rumiantes.

VIII. LITERATURA CITADA

- Anand, J., Upadhyaya, B., Rawat, P. and Rai, N. 2015. Biochemical characterization and pharmacognostic evaluation of purified catechins in green tea (*Camellia sinensis*) cultivars of India. 3 *Biotech*, 5(3), 285–294. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0230-0>
- ANKOM. 2005. Neutral detergent fiber and Acid detergent fiber in feeds - Filter bag technique (for A2000 and A2000I). Method 5 and 6. ANKOM Technology. Recuperado de <https://www.ankom.com/>
- A.O.A.C. 1990. Oficial method of analysis. Association of Official Analytical Chemistry. 15 th edición. Washington, USA.
- Araiza-Rosales, E., Delgado-Licon, E., Carrete-Carreón, F. O., Medrano-Roldán, H., Solís-Soto, A., Murillo-Ortiz, M. y Haubi-Segura, C. 2013. Degradabilidad ruminal in situ y digestibilidad in vitro de diferentes formulaciones de ensilados de maíz-manzana adicionados con melaza. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(2), 79–96.
- Aries. 1997. *Ration Programs for Sheep*. University of California Davis, CA 95616 USA.
- Barman, K. 2004. Biodegradation of tanniniferous feeds and their influence on nutrient utilization and productivity of the dairy animals. Ph.D thesis. Submitted to NDRI, Karnal.
- Crampton, E. W., y Harris, L. E. (1979). *Nutrición animal aplicada*. Segunda edición. Editorial Acribia, Zaragoza, España .
- CPTS. Centro de Promoción Tecnología Sostenible. 2003. Guía técnica de Producción más Limpia para Curtiembres. Otras Medidas de Producción más Limpia: Valoración de Residuos. Capítulo 8. Primera edición. 138 p. Recuperado de <https://docplayer.es/15315032-Guia-tecnica-de-produccion-mas-limpia-para-curtiembres-bolivia.html>

- Cury R, K., Aguas M, Y., Martinez M, A., Olivero V, R. y Chams Ch, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana De Ciencia Animal - RECIA*, 9(S1), 122–132. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530>
- Dominguez, V., Gastelum, J., Aragón, M., Mondragon, J., y Gonzales, M. 2009. Los β -agonistas adrenérgicos como modificadores metabólicos y su efecto en la producción, calidad e inocuidad de la carne de bovinos y ovinos: una revisión. *Ergo Sum*, 16(3), 1–7.
- Eruden, B., Nishida, T., Hosoda, K., Shioya, S., and Cai, Y. (2003). Effects of green tea grounds silage on digestibility, rumen fermentation, and blood components in lactating dairy cows. *Animal Science Journal (Japan)*, 74 (4), 483-490.
- FAO. 2021a. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Producción animal. Recuperado de <http://www.fao.org/animal-production/es/>
- FAO. 2021b. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) Centroamérica. Recuperado de <https://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/temas/conceptos-basicos/es/>
- FAOSTAT. 2020. Organización para la Agricultura y la Alimentación. Cultivos y productos de ganadería. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Ghadami, M., Teimouri Yansari, A., and Chashnidel, Y. 2019. Effect of cut and irrigation water quality on chemical composition and in situ rumen degradability of alfalfa. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 9(4), 609–615.
- GIAHS, 2014. Globally Important Agricultural Heritage Systems. Jasmine and Tea Culture System of Fuzhou City. Recuperado de <https://www.fao.org/3/bp789e/bp789e.pdf>

- Gojón-Báez, H., Beltrones, D. A. S. y Contreras, H. H. (1998). Digestibilidad ruminal y degradabilidad in situ de *macrocystis pyrifera* y *sargassum* spp. en ganado bovino. *Ciencias Marinas*, 24(4), 463-481.
- Gómez-Muñoz, B., Hactch, D. J., Bol, R., and García-Ruíz, R. 2012. The Compost of Olive Mill Pomace: From a Waste to a Resource – Environmental Benefits of Its Application in Olive Oil Groves. En *Sustainable development - authoritative and leading edge content for environmental management* (pp. 459–484). <https://doi.org/10.5772/48244>
- Heil M, Baumann B, Andary C, Linsenmair K.E. and McKey D. 2002. Extraction and cuantification of “condensed tannins” as a measure of plant anti-herbivore defence? Revisiting an old problem. *Naturwissenschaften* 89:519–524.
- Hossain, M. E., Ko, S. Y. and Yang, C. J. 2012. Dietary supplementation of green tea by-products on growth performance, meat quality, blood parameters and immunity in finishing pigs. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(12), 2458–2467. <https://doi.org/10.5897/jmpr11.1643>
- Hrnčár, C. and Bujko, J. 2017. Effect of different levels of green tea (*Camellia sinensis*) on productive performance, carcass characteristics and organs of broiler chickens. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 11(1), 623–628. <https://doi.org/10.5219/809>
- Jalilvand, G., Naserian, A., Kebreab, E., Odongo, N. E., Valizadeh, R., Eftekhar Shahroodi, F., Lopez, S. and France, J. 2008. Rumen degradation kinetics of alfalfa hay, maize silage and wheat straw treated with fibrolytic enzymes. *Archivos de Zootecnia*, 57(218), 155–164.
- Kamalak, A., Canbolat, O., Gurbuz, Y., Ozay, O. and Ozkose, E. (2005). Chemical composition and its relationship to in vitro gas production of several tannin containing trees and shrub leaves. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 18(2), 203-208.
- Kondo, M., Kita, K. and Yokota, H. O. 2004. Feeding value to goats of whole-crop

- oat ensiled with green tea waste. *Animal Feed Science and Technology*, 113(1–4), 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.10.018>
- Kondo, M., Kita, K. and Yokota, H. O. 2007. Ensiled or oven-dried green tea By-product as protein feedstuffs: Effects of tannin on nutritive value in goats. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20(6), 880–886. <https://doi.org/10.5713/ajas.2007.880>
- Kono, M., Furukawa, K., Sagesaka, Y. M., Nakagawa, K. and Fujimoto, K. 2000. Effect of green tea extracts and green tea grounds as dietary supplements on cultured Yellowtail and Ayu. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 47(12), 932–937. <https://doi.org/10.3136/nskkk.47.932>
- Lachmann, M., y Febres, O. 2000. La estimación de la digestibilidad en ensayos con rumiantes. *X Congreso Venezolano de Zootecnia*, Universidad de Zulia, Facultad de Ciencias Veterinarias.
- Makkar, H. P. S., Francis, G. and Becker, K. 2007. Bioactivity of phytochemicals in some lesser-known plants and their effects and potential applications in livestock and aquaculture production systems. *Animal*, 1(9), 1371–1391. <https://doi.org/10.1017/S1751731107000298>
- Mancipe-Muñoz, E. A., Castillo-Sierra, J., Vargas-Martínez, J. J. y Avellaneda-Avellaneda, Y. 2022. Calidad composicional del ensilaje de tres cultivares de maíz (*Zea mays*) del trópico alto colombiano. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), 464–472. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.46412>
- Martínez-Robinson, K. G., Cárdenas-Román, F. A., Campa-Mada, A. C., Toledo-Guillen, A. R., López-Franco, Y. L., Carvajal-Millan, E. and Lizardi-Mendoza, J. 2019. Characterization of the solid waste of olive oil extraction from Caborca, Sonora (Mexico). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. Biotecnia*, 21(3), 48–55.
- Medina-Saavedra, T., Arroyo-Figueroa, G., Herrera-Méndez, C., Gantes-Alcántar, M., Mexicano-Santoyo, L. y Mexicano-Santoyo, A. 2018. Análisis químico

- proximal en residuos sólidos de cerveza artesanal y su aceptación en cerdas. *Abanico veterinario VO - 8*, 8(3), 86. <https://doi.org/10.21929/abavet2018.83.6>
- Méndez Ramírez, I., Namihira Guerrero, D., Moreno Altamirano, L. y Sosa de Martínez, C. 1990. Protocolo de Investigación. Lineamientos para su elaboración y análisis. Editorial Trillas. México.
- Mertens, D. R. 2000. Interpretation of forage analysis reports. *30 th California Alfalfa Symposium and 29th National Alfalfa Symposium*, 157–162. Las vegas, NV: USDA-Agricultural Research Service.
- Minitab. 2018. Minitab. Recuperado de <https://www.minitab.com/en-us/>
- Montiel, M. D. (2020). ¿ Cómo muestrear los alimentos que enviaremos a analizar?. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, INTA. ISSN 0328-7009 pp 35-37.
- Nishida, T., Eruden, B., Hosoda, K., Matsuyama, H., Nakagawa, K., Miyazawa, T. and Shioya, S. 2006. Effects of green tea (*Camellia sinensis*) waste silage and polyethylene glycol on ruminal fermentation and blood components in cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 19(12), 1728–1736. <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.1728>
- Nishino, N., Kawai, T. and Kondo, M. 2007. Changes during ensilage in fermentation products, tea catechins, antioxidative activity and in vitro gas production of green tea waste stored with or without dried beet pulp. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(9), 1639–1644. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2842>
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle Seventh Revised Edition, 2001. NATIONAL ACADEMY PRESS, Washington, D.C.
- Núñez-Torres, O. P. y Rodríguez-Barros, M. A. 2019. Subproductos agrícolas, una alternativa en la alimentación de rumiantes ante el cambio climático. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 6(1), 24–37. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2019.060100024>

- ONU. 2019. Organización de las Naciones Unidas. Desafíos globales, población. Recuperado de <https://www.un.org/es/global-issues/population>
- Orskov, E. R., Hovell, F. D. D. and Mould, F. 1980. The use of nylon bag technique in the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production*, 5, 195–213.
- Orskov, E. R. and McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499–503. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- Osorio-Carmona, E., Giraldo-Carmona, J. y Narváez-solarte, W. 2012. Metodologías para determinar la digestibilidad de los alimentos utilizados en la alimentación canina. *Vet Zootec*, 6(1), 87–97. Recuperado de [http://200.21.104.25/vetzootec/downloads/MVZ6\(1\)_9.pdf](http://200.21.104.25/vetzootec/downloads/MVZ6(1)_9.pdf)
- Partida de la Peña, J. A., Ríos Rincón, F. G., Lino de la Cruz, C., Domínguez Vara, I. A. y Buendía Rodríguez, G. 2017. Caracterización de las canales ovinas producidas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(3), 269–277. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4203>
- Pérez-Gil Romo, F., Carranco-Jáuregui, M. E., Calvo-Carrillo, M. D. la C., Solano, L. y Martínez-Iturbe, T. D. J. 2015. Caracterización química de panojas y vainas con semillas nativas del estado de Guerrero, México, para uso en la alimentación animal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(3), 307. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v5i3.3977>
- Pétriz Celaya, Y. 2010. Efecto de la sustitución de diferentes niveles de heno de alfalfa por orujo de uva sin fermentación alcohólica en dietas para ovinos en crecimiento sobre comportamiento y características de la canal. Tesis de Maestría en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California, México.
- Po, E., Horsburgh, K., Raadsma, H. W., and Celi, P. 2012. Yerba Mate (*Ilex paraguarensis*) as a novel feed supplement for growing lambs. *Small Ruminant*

Research, 106(2–3), 131–136.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.05.016>

Posada, S. L., y Noguera, R. R. 2005. Técnica in vitro de producción de gases: Una herramienta para la evaluación de alimentos para rumiantes. *Livestock Research for Rural Development*, 17(4).

R Development Core Team. 2014. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Recuperado de <https://www.r-project.org/>

Ramdani, D. 2014. Evaluation of tea and spent tea leaves as additives for their use in ruminant diets. Doctoral thesis in Philosophy. Newcastle University. Newcastle, United Kingdom.

Ramdani, D., Chaudhry, A. S., and Seal, C. J. 2013. Chemical composition, plant secondary metabolites, and minerals of green and black teas and the effect of different tea-to-water ratios during their extraction on the composition of their spent leaves as potential additives for ruminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(20), 4961–4967. <https://doi.org/10.1021/jf4002439>

Reyes-Gutiérrez, J. A. 2012. Evaluación de la digestibilidad in situ de los nutrientes y variables ruminales del ensilado de caña de azúcar con diferente fuente de proteína. Tesis de Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México.

Román, Y., Techeira, N., Yamarte, J., Ibarra, Y., y Fasendo, M. 2015. Caracterización físico-química y funcional de los subproductos obtenidos durante la extracción del almidón de musáceas, raíces y tubérculos. *Interciencia*, 40(5), 350–356. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/339/33937066010.pdf>

Sánchez, A., Perea, J., Montenegro, L., Espinoza, I., Avellaneda, J. y Barba, C. 2020. Cinética de degradación ruminal in situ de ensilado de rastrojo de maíz

- (*Zea mays*) con niveles crecientes de urea. *Archivos de Zootecnia*, 69(267), 320–326. <https://doi.org/10.21071/az.v69i267.5351>
- Shen, J. X., Rana, M. M., Liu, G. F., Ling, T. J., Gruber, M. Y. and Wei, S. 2017. Differential contribution of jasmine floral volatiles to the aroma of scented green tea. *Journal of Food Quality*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5849501>
- Suto, R; Horiguchi, K; Takahashi, T. and Toyokawa, K. 2007. Effect of mixing proportion of green tea [*Thea sinensis*] waste and moisture content on the fermentation quality and the rate of in situ degradation of TMR silage. *Japanese Journal of Grassland Science (Japan)*.
- Tilley, J. M. A. and Terry, R. A. 1963. a Two-Stage Technique for the in Vitro Digestion of Forage Crops. *Grass and Forage Science*, 18(2), 104–111. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>
- UNFAP. 2022. Fondo de Población de las Naciones Unidas, Population Data Portal. Recuperado de Population trends website: <https://pdp.unfpa.org/apps/0aeda6af00dd4544ba50452da2dda474/explore>
- Van Soest, P. J. 1963. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. I. Preparation of Fiber Residues of Low Nitrogen Content. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 46(5), 825–829. <https://doi.org/10.1093/jaoac/46.5.825>
- Van Soest, Peter J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant* (2a ed.; Cornell University Press, Ed.). Ithaca, New York, United States.
- Villamizar, H. H. 2000. Producción limpia, gestión ambiental y desarrollo sostenible. *Revista Escuela de administración de negocios*, (39-40), 56-72.
- Wang, H. and Xu, C. 2013. Utilization of tea grounds as feedstuff for ruminant. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 4(1), 2–7. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-54>
- Wang, R. R., Wang, H. L., Liu, X. and Xu, C. C. 2011. Effects of different additives on fermentation characteristics and protein degradation of green tea grounds

silage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(5), 616–622.
<https://doi.org/10.5713/ajas.2011.10346>

Wangchuk, K., Wangdi, J. and Mindu, M. 2018. Comparison and reliability of techniques to estimate live cattle body weight. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 349–352. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1302876>

Xu, C., Cai, Y., Moriya, N. and Ogawa, M. 2007. Nutritive value for ruminants of green tea grounds as a replacement of brewers' grains in totally mixed ration silage. *Animal Feed Science and Technology*, 138(3–4), 228–238.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.11.014>

Xu, C., Cai, Y., Zhang, J., Fukasawa, M. and Moriya, N. 2008. Ensiling and subsequent ruminal degradation characteristics of barley tea grounds treated with contrasting additives. *Animal Feed Science and Technology*, 141(3–4), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.032>

Yamamoto, T., Juneja, L. R., Chu, D.J. and Kim, M. 1997. Chemistry and applications of green tea. CRC press. New York.

Yang, C. J., Yang, I. Y., Oh, D. H., Bae, I. H., Cho, S. G., Kong, I. G., Uuganbayar D., Nou I. S. and Choi K. S. 2003. Effect of green tea by-product on performance and body composition in broiler chicks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 16(6), 867–872. <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.867>

Zahedifar, M., Fazaeli, H., Safaei, A. R. and Alavi, S. M. 2019. Chemical Composition and in vitro and in vivo Digestibility of Tea Waste in Sheep. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 9(1), 87-93.