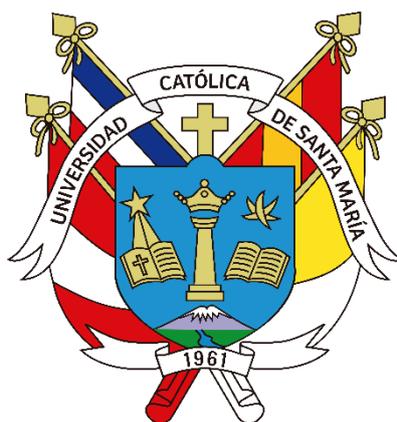


Universidad Católica de Santa María.

Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas

Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia



"ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE LA FIBRA DETERGENTE NEUTRO EN ENSILAJES DE MAÍZ. AREQUIPA – 2020".

"COMPARATIVE STUDY OF *IN VITRO* DIGESTIBILITY OF NEUTRAL DETERGENT FIBER (NDF) IN CORN SILAGES. AREQUIPA - 2020"

Tesis presentada por el Bachiller:

Díaz Aleman Luis Enrique

Para optar por el Título
Profesional de:

Médico Veterinario y Zootecnista

Asesor:

Mgter. MVZ Zegarra Paredes
Jorge Luis.

Arequipa – Perú

2023

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 26 de Septiembre del

2021 **Dictamen: 000797-C-EPMVZ-2021**

Visto el borrador del expediente 000797, presentado por:

2008180041 - DIAZ ALEMAN LUIS ENRIQUE

Titulado:

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA FIBRA DETERGENTE
NEUTRO EN ENSILAJES DE MAÍZ AREQUIPA ? 2020**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1331 - OBANDO SANCHEZ ALEXANDER DANIEL
DICTAMINADOR**



**2145 - ZEGARRA PAREDES JORGE LUIS
DICTAMINADOR**



**2148 - VALDEZ NUÑEZ VERONICA ROCIO
DICTAMINADOR**



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico a Dios por brindarme vida y salud.

A mis padres por haber sido mi apoyo a lo largo de mi vida.

A mi esposa Victoria y a mis hijos Miranda e Ignacio.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Católica de Santa María por formarme como persona y profesional.

A mi asesor Mgter. MVZ Jorge Luis Zegarra Paredes por su paciencia y valiosa enseñanza.

A mis jurados Dr. Alexander Obando Sánchez, Dr. Gary Villanueva Gandarillas y Dra. Verónica Valdez Núñez, por sus valiosos aportes y correcciones al presente trabajo de investigación

A los productores y ganaderos de la Irrigación de Majes y Santa Rita de Sigwas que facilitaron sus muestras para la realización del presente trabajo de investigación



RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en la zona de irrigaciones de la franja costera de la Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa y tuvo como objetivo evaluar muestras de ensilaje de maíz producido en la Irrigación de Majes y Santa Rita de 03 variedades diferentes, Insignia 860, Dekalb 7500 y Dekalb 399. Se utilizaron 03 repeticiones por cada variedad y tiempo de incubación, haciendo un total de 06 muestras de cada variedad. Los silos seleccionados de cada variedad fueron sembrados entre julio y agosto del 2020 y cosechados a los 110+/-10 días mediante cosechadora mecánica autopropulsada y conservados en silos tipo bunker o parva durante un tiempo mínimo de 30 días. Los componentes nutricionales de las muestras se evaluaron en base a metodologías convencionales de laboratorio y la digestibilidad in vitro según el método Daisy II Ankom. Los valores nutricionales se determinaron para cada variedad y se compararon mediante un diseño completamente al azar con tres tratamientos (variedades) y 6 repeticiones. Los valores de digestibilidad in vitro de la MS (DIV_{MS}) y de la FDN (DIV_{FDN}) se analizaron en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 3 x 2, con tres variedades de maíz y 2 tiempos de incubación (30 y 48 hrs). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de materia seca de las 03 variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad DEKALB 7500 con 34.0% seguida de DEKALB 399 con 32.5% y finalmente INSIGNIA 860 con 31.3%, sin diferencias entre estas últimas. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de proteína cruda entre las 03 variedades. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de extracto etéreo de las 03 variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad DEKALB 7500 con 2.2% seguida de la DEKALB 399 con 2.0% sin diferencias entre ellas, y finalmente INSIGNIA 860 con 1.3%. Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los valores de cenizas de las 03 variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad INSIGNIA 860 con 7.0% seguida de DEKALB 399 con 6.6% sin diferencias entre ellas, y finalmente DEKALB 7500 con 5.6%. Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los valores de fibra detergente neutra y fibra detergente acida de todas las variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad INSIGNIA 860 con 44.0 y 27.2% seguida de la DEKALB 399 con 38.7 y 23.1%, y finalmente DEKALB 7500 con 34.8 y

19.6% respectivamente. No se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) entre los valores de lignina detergente ácido, proteína insoluble en detergente neutro ni proteína insoluble en detergente ácido entre las 03 variedades. Se encontraron diferencias altamente significativas ($p<0.01$) entre los valores de carbohidratos no fibrosos y energía neta de lactación de todas las variedades, correspondiendo el mayor valor para la variedad DEKALB 7500 con 51.0% y 1.59 Mcal/kgMS, DEKALB 399 con 46.4% y 1.52 Mcal/kgMS, y finalmente INSIGNIA 860 con 41.3% y 1.46 Mcal/kgMS respectivamente. En la evaluación de la DIV_{MS} , se encontraron diferencias altamente significativas ($p<0.01$) tanto entre variedades como entre tiempos de incubación. La variedad INSIGNIA 860 tuvo la mayor DIV_{MS} con 73.3% seguida de DEKALB 7500 con 72.5% sin diferencias entre ellas y DEKALB 399 con una DIV_{MS} de 66.9%. En cuanto a las horas de incubación la mayor DIV_{MS} se obtuvo a las 48 hrs con 72.0% y el menor a las 30 hrs con 69.8% con diferencias significativas ($p<0.01$) entre ambas. Se encontró interacción significativa entre variedad y tiempo de incubación ($p<0.05$). En la DIV_{FDN} , se encontraron diferencias altamente significativas ($p<0.01$) solamente entre tiempos de incubación. La variedad DEKALB 399 tuvo la mayor DIV_{FDN} con 53.8% seguida de DEKALB 7500 con 52.6%, y la variedad INSIGNIA 860 tuvo la menor DIV_{FDN} con 50.6%. En cuanto a las horas de incubación la mayor DIV_{FDN} se obtuvo a las 48 hrs con 54.7% y la menor a las 30 hrs con 49.9% con diferencias significativas ($p<0.01$) entre ambos. Estos valores de DIV_{FDN} demostraron, en promedio, una mayor digestibilidad de la fibra de las variedades evaluadas con respecto a los valores reportados en la literatura, bajo las condiciones de las zonas de irrigación de la provincia de Arequipa.

Palabras Clave: ensilaje de maíz, digestibilidad in vitro de la materia seca, digestibilidad in vitro del FDN, forrajes, calidad nutricional

ABSTRACT

The research work was carried out in the irrigation zone of the coastal strip of the Province of Arequipa, Department of Arequipa and aimed to evaluate samples of corn silage produced in the Irrigation of Majes and Santa Rita of 03 different varieties, Insignia 860, Dekalb 7500 and Dekalb 399. 03 repetitions were used for each variety and incubation time, making a total of 06 samples of each variety. The selected silos of each variety were sown between July and August 2020 and harvested at 110 +/- 10 days using a self-propelled mechanical harvester and kept in bunker-type silos or heap for a minimum time of 30 days. The nutritional components of the samples were evaluated based on conventional laboratory methodologies and in vitro digestibility according to the Daisy II Ankom method. The nutritional values were determined for each variety and were compared by a completely randomized design with three treatments (varieties) and 6 repetitions. The in vitro digestibility values of DM (IVD_{DM}) and NDF (IVD_{NDF}) were analyzed in a completely randomized design with a factorial arrangement of 3 x 2, with three varieties of corn and 2 incubation times (30 and 48 hrs). Significant differences ($p < 0.05$) were found between the dry matter values of the 03 varieties, the highest value corresponding to the DEKALB 7500 variety with 34.0% followed by DEKALB 399 with 32.5% and finally INSIGNIA 860 with 31.3%, without differences between these last. No significant differences ($p > 0.05$) were found between the crude protein values between the 03 varieties. Significant differences ($p < 0.05$) were found between the ethereal extract values of the 03 varieties, the highest value corresponding to the DEKALB 7500 variety with 2.2% followed by DEKALB 399 with 2.0% without differences between them, and finally INSIGNIA 860 with 1.3%. Highly significant differences ($p < 0.01$) were found between the ash values of the 03 varieties, the highest value corresponding to the variety INSIGNIA 860 with 7.0% followed by DEKALB 399 with 6.6% without differences between them, and finally DEKALB 7500 with 5.6%. Highly significant differences ($p < 0.01$) were found between the values of neutral detergent fiber and acid detergent fiber of all varieties, the highest value corresponding to the variety INSIGNIA 860 with 44.0 and 27.2% followed by DEKALB 399 with 38.7 and 23.1%, and finally DEKALB 7500 with 34.8 and 19.6% respectively. No significant differences ($p > 0.05$) were found between the values of acid detergent lignin, neutral detergent insoluble crude protein and acid detergent

insoluble crude protein among the 03 varieties. Highly significant differences ($p < 0.01$) were found between the values of non-fibrous carbohydrates and net lactation energy of all varieties, the highest value corresponding to the variety DEKALB 7500 with 51.0% and 1.59 Mcal / kgDM, DEKALB 399 with 46.4% and 1.52 Mcal / kgDM, and finally INSIGNIA 860 with 41.3% and 1.46 Mcal / kgDM respectively. In the IVD_{DM} evaluation, significant differences ($p < 0.01$) were found both between varieties and between incubation times. The variety INSIGNIA 860 had the highest IVD_{DM} with 73.3% followed by DEKALB 7500 with 72.5% without differences between them and DEKALB 399 with a IVD_{DM} of 66.9%. Regarding the hours of incubation, the highest IVD_{DM} was obtained at 48 hrs with 72.0% and the lowest at 30 hrs with 69.8% with significant differences ($p < 0.01$) between both. A significant interaction was found between variety and incubation time ($p < 0.05$). In IVD_{NDF} , significant differences ($p < 0.01$) were found only between incubation times. The DEKALB 399 variety had the highest IVD_{NDF} with 53.8% followed by DEKALB 7500 with 52.6%, and the INSIGNIA 860 variety had the lowest IVD_{NDF} with 50.6%. Regarding the hours of incubation, the highest IVD_{NDF} was obtained at 48 hrs with 54.7% and the lowest at 30 hrs with 49.9% with significant differences ($p < 0.01$) between both. These IVD_{NDF} values demonstrated, on average, a higher fiber digestibility of the evaluated varieties with respect to the values reported in the literature, under the conditions of the irrigation zones of the province of Arequipa.

Key Words: corn silage, in vitro dry matter digestibility, in vitro NDF digestibility, forages, nutritional quality

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	11
INDICE DE ANEXOS	12
CAPITULO I	14
INTRODUCCIÓN	14
1.1. Enunciado del Problema	14
1.2. Descripción del problema	14
1.3. Justificación del trabajo	14
1.3.1. Aspecto general	14
1.3.2. Aspecto tecnológico	15
1.3.3. Aspecto social.	15
1.3.4. Aspecto económico	15
1.3.5. Importancia	15
1.4. Objetivos	16
1.4.1. Objetivo general	16
1.4.2. Objetivos específicos	16
1.5. Hipótesis	16
CAPITULO II	17
MARCO TEORICO	17
2.1. Análisis bibliográfico	17
2.1.1 Fermentación ruminal o metabolismo ruminal	17
2.1.2. Microorganismos del rumen	17
2.1.3. Condiciones de los microorganismos del rumen	22
2.1.3.1. Anaerobiosis.	22
2.1.3.2. Aportes de nutrientes.	22
2.1.3.3. Eliminación de los productos de desecho del metabolismo ruminal que son los ácidos grasos volátiles (AGV), gases y alimento no digerido.	22
2.1.3.4. pH.	23
2.1.3.5. Presión osmótica.	24
2.1.3.6. Temperatura.	24
2.1.4. Metabolismo de los hidratos de carbono (CHO)	24
2.1.5. Metabolismo ruminal de los compuestos nitrogenados	25

2.1.6. Metabolismo ruminal de los lípidos.	26
2.1.7. Digestibilidad	27
2.1.7.1. Digestibilidad de los alimentos	27
2.1.7.2. Digestibilidad <i>in vitro</i> de forrajes y concentrados	27
2.1.7.3. Técnica descrita por Tilley y Terry modificada por Van Soest	28
2.1.7.4. Técnica Daisy Ankom II	30
2.1.7.5. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la FDN	30
2.1.7.5.1. Digestibilidad <i>in situ</i> de FDN	31
2.1.7.5.2. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la FDN	31
2.2. Antecedentes de investigación	33
2.2.1. Análisis de tesis	33
2.2.2. Análisis de trabajos de investigación	35
CAPITULO III	37
MATERIALES Y METODOS	37
3.1. Materiales	37
3.1.1. Localización del trabajo	37
3.1.1.1 Espacial	37
3.1.1.2. Temporal	37
3.1.2. Materiales biológicos	37
3.1.3. Materiales de laboratorio	37
3.1.4. Materiales de campo	37
3.1.5. Equipos y maquinarias	38
3.1.6. Otros materiales	38
3.2. Métodos	38
3.2.1. Muestreo	38
3.2.1.1. Universo	38
3.2.1.2. Tamaño de muestra	38
3.2.1.3. Procedimiento de muestreo	39
3.2.2. Métodos de evaluación	39
3.2.2.1. Metodología de la experimentación	39
3.2.2.1.1. Metodología para la elección de las unidades de experimentación	39
3.2.2.1.2. Metodología de análisis químico nutricional de las muestras	39
3.2.2.1.3. Metodología del análisis de digestibilidad <i>in vitro</i> de la MS y del FDN	41

3.2.2.2. Recopilación de la información	42
3.3. Variables de respuesta	42
3.3.1. Variables independientes	42
3.3.2. Variables dependientes	42
3.4. Evaluación estadística	43
3.4.1. Diseño Experimental	43
3.4.1.1. Unidades experimentales	43
3.4.1.2. Análisis estadístico	43
3.4.1.3. Análisis de significancia	44
CAPITULO IV	45
RESULTADOS Y DISCUSION	45
4.1. Resultados	45
4.1.1. Determinación del valor químico proximal de las muestras en estudio	45
Tabla 2. Composición químico proximal de las 03 variedades de ensilaje bajo estudio	45
4.1.2. Determinación el contenido de la pared celular de las muestras en estudio	47
4.1.3. Estimación del valor energético de las muestras bajo estudio	49
4.1.4. Establecer el % digestibilidad <i>in vitro</i> de la MS y FDN a las 30 y 48 horas de incubación.	50
4.1.4.1. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la MS (DIV_{MS}) a las 30 y 48 horas	50
4.1.4.2. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la FDN (DIV_{FDN}) a las 30 y 48 horas	52
CAPITULO V	54
CONCLUSIONES	54
CAPITULO VI	56
RECOMENDACIONES	56
CAPITULO VII	57
BIBLIOGRAFIA	57
ANEXOS	60
FOTOS	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las principales especies bacterianas del rumen según tipo de sustrato que fermentan.	21
Tabla 2. Composición químico proximal de las 03 variedades de ensilaje bajo estudio	45
Tabla 3. Composición química de la pared celular de las 03 variedades de ensilaje bajo estudio	47
Tabla 4. Valor energético de las 03 variedades de ensilaje bajo estudio	49
Tabla 5. % Digestibilidad in vitro de la MS (DIV_{MS}) a las 30 y 48 horas de incubación	51
Tabla 6. % Digestibilidad in vitro de la FDN (DIV_{FDN}) a las 30 y 48 horas de incubación	52



INDICE DE ANEXOS	9
ANEXO A: ANALISIS ESTADISTICOS	61
ANEXO B: ANALISIS DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA MATERIA SECA	68
ANEXO C: ANALISIS DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA FIBRA DETERGENTE NEUTRA	69
ANEXO D: ANALISIS ESTADISTICO DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA MS	69
ANEXO E: ANALISIS ESTADISTICO DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA FDN	70



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Enunciado del Problema

Estudio comparativo de la digestibilidad *In vitro* de la Fibra Detergente Neutra (FDN) en ensilajes de maíz

1.2. Descripción del problema

El maíz es un cultivo de amplia distribución en la zona sur del país y cuyo principal destino es la elaboración de ensilaje. El ensilaje de maíz es un componente importante en la dieta de las vacas, debido a que constituye una opción de bajo costo por unidad energética y es el perfecto complemento en las raciones de los sistemas intensivos de estabulación, estabulación temporal y pastoril. Los productores que establecen este cultivo suplementario, no solo buscan alcanzar un buen rendimiento de materia seca: 20 a 26 Ton MS/ha, sino que también un alimento de alto valor nutricional.

La importancia de medir la digestibilidad de la FDN (dFDN) ha sido reconocida recientemente. La digestibilidad de forrajes varía grandemente entre leguminosas o gramíneas cosechadas a un estado de madurez similar, incluso para una misma especie, cuando crecen bajo diferentes condiciones climáticas. Al digerir la FDN más rápidamente, los rumiantes pueden pasar el alimento más rápidamente por el rumen, lo que permite un mayor consumo de materia seca y una mejora en el desempeño del animal. Disminuciones en la dFDN son por lo general un reflejo de un mayor contenido en lignina en la fracción de FDN. La dFDN se mide como la digestión de la FDN *in vitro* durante 30 o 48 horas. (García, 2003)

1.3. Justificación del trabajo

1.3.1. Aspecto general

El estudio de la digestibilidad de la fibra consumida es de gran importancia en la alimentación de vacas lecheras de alta producción, y en especial de los alimentos fibrosos que constituyen gran parte de la ración en vacas en lactación, de allí su importancia como parámetro de evaluación de la calidad de los forrajes.

1.3.2. Aspecto tecnológico

La introducción de técnicas modernas de evaluación de la digestibilidad es de gran importancia en la alimentación de vacas lecheras de alta producción, como lo constituye la técnica de Digestibilidad *in vitro* a través de la Incubadora Daisy Ankom II. El uso de esta moderna técnica en la evaluación de ensilajes de maíz es completamente nuevo en nuestra región y el país, con lo cual se está introduciendo una innovación en el estudio de la calidad de forrajes en nuestro país.

1.3.3. Aspecto social.

En las últimas décadas la crianza de ganado lechero se ha especializado e intensificado con el uso de mayores cantidades de forrajes como el ensilaje de maíz, pero ello no ha ido de la mano con mayores conocimientos acerca de su calidad nutricional y variabilidad, por lo que el presente estudio aportara mayores conocimientos para uso de los pequeños y medianos productores que no cuentan con la posibilidad de realizar costosos análisis nutricionales para obtener dicha información.

1.3.4. Aspecto económico

Con esta investigación buscamos determinar los valores de dFDN como un parámetro de evaluación de las variedades de maíz forrajero disponibles en el mercado, para mejorar su utilización y digestibilidad a nivel productivo mejorando la disponibilidad de nutrientes y consecuentemente, el desempeño productivo del animal y la rentabilidad de la explotación.

1.3.5. Importancia

La técnica *in vitro* ofrece la posibilidad de estudiar la digestibilidad ruminal de los alimentos a través de la utilización de la Incubadora Daisy Ankom II. Esta técnica ha sido empleada de manera rutinaria en laboratorios nutricionales a través de este equipo, ya que simula la digestibilidad del tracto digestivo del rumiante y solo requiere de la preparación de un inóculo que contenga microorganismos ruminales viables. Esta técnica evita que los animales que serán parte del estudio tengan que pasar por una costosa cirugía para realizarles un fistula ruminal, así aportando al bienestar animal.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar comparativamente la digestibilidad *in vitro* de la FDN en muestras de ensilaje de maíz.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer el valor químico proximal de las muestras en estudio
- Determinar el contenido de la pared celular de las muestras en estudio.
- Establecer el % digestibilidad *in vitro* de la FDN a las 30 y 48 horas de incubación.

1.5. Hipótesis

Dado que la digestibilidad de la fibra de los forrajes es un proceso fisiológico que tiene diversos factores que afectan su magnitud, es probable que la variedad y el tiempo de incubación afecten su porcentaje en muestras de ensilaje de maíz cultivadas bajo condiciones locales

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Análisis bibliográfico

2.1.1 Fermentación ruminal o metabolismo ruminal

La fermentación ruminal se refiere al metabolismo microbiano en ausencia de oxígeno es resultado de la acción metabólica de los microorganismos que viven en simbiosis en el rumen. Los microorganismos del rumen son esencialmente bacterias y protozoarios, estas poblaciones entran al organismo del recién nacido por el contacto con animales adultos, la ingesta de alimentos sólidos y el consumo de agua. En los rumiantes, la degradación de los sustratos moleculares por acción de los microorganismos se realiza por hidrólisis enzimática (Relling y Mattioli, 2003; Contraras y Noro, 2010).

Los rumiantes han desarrollado un aparato digestivo que les permite aprovechar forrajes ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina, gracias a la presencia de microorganismos. La población microbiana del rumen está integrada por bacterias, protozoarios, hongos, bacteriófagos y ocasionalmente levaduras; manteniendo una relación de sinergismo con los rumiantes (Carrillo, 2003; Yang et al., 2004; Carmona et al., 2005).

Las bacterias representan la fracción de la población ruminal imprescindibles para la vida del rumiante. El neonato adquiere esta flora por el contacto directo con otros bovinos o bien por contacto indirecto a través de elementos contaminados como forrajes o agua de bebida. (Relling y Mattioli, 2003)

2.1.2. Microorganismos del rumen

Los microorganismos del rumen son esencialmente bacterias y protozoarios. Las primeras son las más importantes, el número de bacterias varía entre 10^{10} a 10^{11} por mililitro de líquido ruminal La concentración se ve afectada por el pH ruminal y el tipo de dieta pues si bien están presentes siempre varias especies, el porcentaje en que se halla cada una de ellas es muy variable. La flora celulolítica se desarrolla mejor en pH de 6.0 a 6.9 y la amilolítica a pH de 5.5 a

6.0 (Relling y Mattioli, 2003; Wright y Klieve, 2011). Dentro del grupo de los anaerobios estrictos destacan las bacterias celulolíticas y hemicelulolíticas (encargadas de degradar y fermentar los hidratos de carbono estructurales de la pared celular), bacterias amilolíticas (fermentan los hidratos de carbono de reserva de granos, almidón), bacterias sacarolíticas (fermentan carbohidratos simples, azúcares vegetales), bacterias lactolíticas (degradan el lactato), bacterias lipolíticas (degradan las grasas), bacterias proteolíticas (degradan las proteínas), bacterias ureolíticas (hidrolizan la urea) y bacterias metanogénicas (producen metano) (Carrillo, 2003; Relling y Mattioli, 2003; Wright y Klieve, 2011).

A diferencia de las bacterias, los protozoarios son capaces de sintetizar proteína a partir de nitrógeno no proteico (NNP). Los protozoos representan la microfauna ruminal, desarrollan preferentemente a pH superior a 6 y a pesar de estar normalmente presentes no son imprescindibles para la función ruminal ni para la supervivencia del animal. Normalmente son adquiridos por el ternero por contacto directo con otros rumiantes. Si bien se encuentran en menor concentración que las bacterias, a razón de 10⁴ a 10⁶/ml de líquido ruminal, al tener mayor tamaño poseen una masa total que puede llegar a ser semejante a la bacteriana. Desde el punto de vista metabólico los protozoarios se diferencian de las bacterias por poseer una menor capacidad celulolítica (5 al 20 % del total) y además son capaces de sintetizar proteínas a partir de NNP. Son beneficiosos al moderar la fermentación amilolítica, debido en parte a que consumen preferentemente bacterias amilolíticas y además engloban trozos de almidón que pasan al intestino dentro del protozoo y evitan la fermentación ruminal, proveyendo de esa forma una fuente directa de glucosa para el animal. Con respecto al metabolismo proteico favorecen al rumiante aumentando el valor biológico de la proteína, pero se cree que es a un elevado costo energético por la recirculación de nitrógeno. Esto es que utilizan para formar proteínas con las proteínas sintetizadas por las bacterias. A esto se le suma el dogma de que la mayoría de los protozoos mueren en el rumen, por lo cual sus proteínas son liberadas al medio ruminal donde las bacterias las van a degradar

en las cadenas carbonadas y amoníaco para cubrir sus necesidades (Relling y Mattioli, 2003)

Los hongos representan cerca del 8% de la biomasa ruminal. Son de gran importancia para la actividad celulolítica, se habla de 10^3 a 10^6 por mililitro de líquido ruminal. (Relling y Mattioli, 2003; Wright y Klieve, 2011). Se puede considerar al rumen como una enorme cuba de fermentación, con condiciones de temperatura constante (39°C , 1°C más que la temperatura del animal debido al calor desprendido por la fermentación), y anaerobiosis, es decir, exclusión del aire por los gases producidos por la fermentación.

La acidez es más variable pues los productos finales de la acción bacteriana son ácidos grasos volátiles (acéticos, propiónico y butírico) los cuales son neutralizados por la saliva. Si el alimento es muy digestible, la gran producción de ácidos grasos volátiles no alcanza a ser neutralizada y el pH baja a 6 y aún 5,5 en casos extremos, mientras que con dietas de mayor contenido en celulosa la producción de ácido es más lenta y la producción de saliva mayor de modo que el pH se mantiene aproximadamente en 6,8. En el primer caso tenderán a aumentar las bacterias productoras de ácido propiónico, mientras que En el segundo predominarán las productoras de ácido acético. Estos ácidos, producto de deshecho para las bacterias, son la principal fuente de energía para el rumiante y, como veremos más adelante, son utilizados por éste con distinta eficiencia para los diferentes procesos.

Esto hace que sea poco importante la calidad de la proteína que se suministra al animal dado que no se registran en la práctica deficiencias de aminoácidos esenciales, pues estos son sintetizados por las bacterias, lo cual permite usar fuentes de nitrógeno muy económicas (tales como urea, biuret, etc.) para satisfacer los requerimientos en proteína del rumiante.

También se sintetizan en el rumen todas las vitaminas del grupo B y la K, haciendo al animal independiente de su aporte por la dieta. Los microorganismos que pueblan el tracto gastrointestinal de los herbívoros son

los principales responsables de la digestión de los carbohidratos complejos que contiene el alimento. Las poblaciones de microorganismos en el rumen, gracias a sus capacidades fisicoquímicas, transforman el alimento mediante un proceso de fermentación anaerobia en otros productos. El animal hospedador aprovecha algunos de los productos finales de la fermentación absorbiéndolos a través de la mucosa del rumen y el retículo. Además de esto, el rumiante utiliza la proteína no degradada en el rumen por los microorganismos y la contenida en los mismos, cuando llegan a tramos posteriores del tracto gastrointestinal, para cubrir sus necesidades.



Tabla 1. Clasificación de las principales especies bacterianas del rumen según tipo de sustrato que fermentan.

(adaptado de Yokohama y Johnson. 1988).

<p>Principales especies celulolíticas <i>Fibrobacter succinogenes</i> <i>Ruminococcus flavefaciens</i> <i>Ruminococcus albus</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i></p>	<p>Principales especies proteolíticas <i>Ruminobacter amylophilus</i> <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Streptococcus bovis</i></p>
<p>Principales especies hemicelulolíticas <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Ruminococcus sp.</i></p>	<p>Principales especies utilizadoras de lípidos <i>Anaerovibrio lipolytica</i> <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Treponema bryantii</i> <i>Eubacterium sp.</i> <i>Fusocillus sp.</i> <i>Micrococcus sp.</i></p>
<p>Principales especies pectinolíticas <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Lachnospira multiparus</i> <i>Succinivibrio dextrinosolvens</i> <i>Treponema bryantii</i> <i>Streptococcus bovis</i></p>	<p>Principales especies productoras de metano <i>Methanobrevibacter ruminantium</i> <i>Methanobacterium formicicum</i> <i>Methanomicrobium mobile</i></p>
<p>Principales especies amilolíticas <i>Ruminobacter amylophilus</i> <i>Streptococcus bovis</i> <i>Succinomonas amylolytica</i> <i>Prevotella ruminicola</i></p>	<p>Principales especies productoras de amoniaco <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Megasphaera elsdenii</i> <i>Selenomonas ruminantium</i></p>
<p>Principales especies utilizadoras de azúcares <i>Treponema bryantii</i> <i>Lactobacillus vitulinus</i> <i>Lactobacillus ruminus</i></p>	<p>Principales especies ureolíticas <i>Succinivibrio dextrinosolvens</i> <i>Selenomonas sp.</i> <i>Prevotella ruminicola</i> <i>Ruminococcus bromii</i> <i>Butyrivibrio sp.</i> <i>Treponema sp.</i></p>
<p>Principales especies utilizadoras de ácidos <i>Megasphaera elsdenii</i> <i>Selenomonas ruminantium</i></p>	

Fuente: Church, (1993)



2.1.3. Condiciones de los microorganismos del rumen

Para que se realice el proceso de fermentación por acción de los microorganismos ruminales, es necesario que en el complejo retículorumen se mantengan en condiciones específicas de:

2.1.3.1. Anaerobiosis

La ausencia de oxígeno es necesaria para que los microorganismos, que viven en simbiosis en el rumen, obtengan energía a través de la vía glucolítica. El metabolismo anaerobio de los microorganismos ruminales es el factor responsable de la simbiosis con el rumiante. Al no utilizar oxígeno los microorganismos ruminales dependen de la vía glucolítica para la obtención de energía. Para comprender este punto puede ser necesario repasar las vías metabólicas que le permiten a una célula aerobia obtener energía del alimento

2.1.3.2. Aportes de nutrientes

La nutrición de los rumiantes es dependiente de la nutrición de la población de microorganismos ruminales, se debe alimentar a los microorganismos para que estos alimenten al rumiante Relling y Mattioli (2003). Esta degrada parcial o totalmente los componentes de la dieta, por lo cual puede aceptarse que en realidad se está alimentando al rumen para que luego éste alimente al rumiante.

2.1.3.3. Eliminación de los productos de desecho del metabolismo ruminal que son los ácidos grasos volátiles (AGV), gases y alimento no digerido.

Si se acumula de forma excesiva los AGV e H⁺, se produce un incremento en la presión osmótica del rumen, ocasionando la disminución del pH. Los AGV son sustraídos a través de la absorción de las paredes del rumen, mientras que el H⁺ se elimina en forma de metano. Los gases producto de la fermentación ruminal, especialmente CO₂ y CH₄, se eliminan a través del eructo. El alimento no digerido continúa el tránsito por el resto del aparato digestivo, hasta eliminarse vía fecal (AGV, gases y alimento no digerido). Los AGV e H⁺ deben ser retirados del rumen, de otro modo su acumulación excesiva aumentaría la presión osmótica y disminuiría el pH a valores nocivos. Los AGV son retirados por absorción a través de las

paredes del rumen, y el H^+ es eliminado tras la formación de metano. Un bovino produce diariamente cientos de litros de gas, especialmente CO_2 y metano, que deben ser eliminados por eructación. La fracción de la dieta que no pudo ser digerida debe continuar su tránsito por el aparato digestivo. La tasa de pasaje del contenido ruminal varía dependiendo de la dieta. El tiempo medio de retención en el retículo-rumen varía de 10 a 24 horas para el agua y los elementos soluble (en esta categoría se incluyen los microorganismos), mientras que aquellos insolubles de alta o baja digestibilidad poseen una vida media aproximada en el rumen de 30 y 50 hr. respectivamente. Aunque, si el material posee alto contenido de lignina, la cual no es degradable por las bacterias, el pasaje se acelera. De esa forma se vacía el rumen, teniendo posibilidad del ingreso de nuevos alimentos. El flujo de microorganismos, junto al alimento no digerido hacia el abomaso, evita la sobrepoblación ruminal

2.1.3.4. pH.

El rango de pH que necesitan los microorganismos ruminales para un desarrollo normal va de 5.5 a 6.9, los cambios extremos en el pH favorecen el desarrollo de microorganismos que alteran el funcionamiento del rumen. Relling y Mattioli (2003). Fuera de éste, el pH extremo favorece el desarrollo de otros microorganismos que alteran el patrón metabólico del rumen y enferman al rumiante. La cantidad de H^+ producido va a depender del tipo de dieta y el tipo de microorganismo que fermente dicho nutriente. Lo cual determinara también la “eficiencia” de ese alimento debido a la producción de metano y tipo de AGV. Esto se explica con más detalle en la parte de regulación del pH.

El pH se mantiene relativamente constante. El rumen es un sistema anaerobio en el que se producen fermentaciones de azúcares cuyo producto final son ácidos grasos volátiles y otros ácidos orgánicos que al liberarse al medio hacen disminuir el pH. El mantenimiento del pH en valores próximos a la neutralidad es posible por la absorción de ácidos grasos volátiles a través de la pared del rumen y por el efecto tampón que

ejerce la saliva del rumiante, que posee gran cantidad de fosfatos y bicarbonatos. Una oveja produce entre 10 y 15 litros de saliva diarios. (Czerkawski, 1986).

2.1.3.5. Presión osmótica.

La presión osmótica del contenido ruminal es de 300 mOsm/l, con lo que se evita la pérdida descontrolada desde el líquido intersticial hacia el rumen o de forma inversa. La presión osmótica está por debajo de niveles isotónicos para permitir el flujo de líquidos desde el rumen hacia el torrente sanguíneo. La absorción de ácidos grasos volátiles a través de las paredes del rumen favorece el mantenimiento de la presión osmótica en valores adecuados, lo cual es crucial para permitir la reabsorción de sodio, cloro, fosfatos y otros iones que se encuentran en la saliva y que permiten mantener el equilibrio hídrico, ácido-básico y electrolítico en el animal hospedador. Esta reabsorción está favorecida también por la rumia e insalivación, las cuales promueven la renovación del líquido en el rumen y el lavado de las partículas más finas.

2.1.3.6. Temperatura

A fin de favorecer el crecimiento bacteriano, la temperatura ruminal se mantiene entre 38 y 42°C. Relling y Mattioli (2003). Se encuentra a una temperatura constante (39°C), regulada por el sistema homeotermo del rumiante hospedador. Las fermentaciones que ocurren en su interior son procesos exotérmicos, disipándose en el rumen entre un 4% y un 12% en forma de calor, de manera que si estuviera aislado podría alcanzar los 50°C en un día. El rumiante mantiene su temperatura corporal gracias a la irrigación de las paredes del rumen, el calor se dirige por la sangre hacia la piel, que actúa como refrigerador. Además, el peristaltismo ruminal evita el sobrecalentamiento de las paredes.

2.1.4. Metabolismo de los hidratos de carbono (CHO)

Los hidratos de carbono pueden ser de reserva, estructurales o bien azúcares, y la degradación de cada tipo posee características propias. En base a su estructura y función los CHO pueden clasificarse en polisacáridos de reserva, como el almidón, polisacáridos estructurales como la celulosa, la hemicelulosa

y la pectina, y finalmente CHO simples o azúcares, entre los cuales encontramos mono y disacáridos. (Relling y Mattioli, 2003)

El almidón es un polímero de moléculas de D-glucosa ordenadas como una cadena lineal con enlaces glucosídicos alfa 1-4 en la amilosa, o con ramificaciones que se inician en uniones glucosídicas alfa 1-6 en la amilopectina. Igualmente, todos estos enlaces en el almidón, por ser de tipo alfa, son desdoblados tanto por los microorganismos amilolíticos del rumen como por la amilasa pancreática del animal. (Relling y Mattioli, 2003)

El almidón es un polisacárido de reserva para los vegetales y está presente especialmente en los granos. Como poseen baja concentración de agua y aportan mucha energía en poco volumen, los granos se consideran un alimento concentrado energético. Al ingresar con la dieta el almidón es atacado principalmente por las bacterias amilolíticas que lo desdoblan para consumir glucosa y producir AGV, especialmente propionato. La digestibilidad del almidón en el rumen es elevada y la fracción que logra pasar al intestino puede ser degradado por la amilasa pancreática y así absorberse como glucosa. Esta última alternativa favorece al rumiante al aportarle una fuente directa de glucosa, que de otro modo debería sintetizar por gluconeogénesis hepática empleando el propionato absorbido en el rumen. Un mecanismo que transfiere pequeñas cantidades de almidón al intestino son los protozoos, que pueden almacenarlo en su cuerpo. La digestibilidad ruminal del almidón depende en gran medida de la facilidad con que acceden a él las bacterias amilolíticas. (Relling y Mattioli, 2003)

2.1.5. Metabolismo ruminal de los compuestos nitrogenados

El metabolismo de las proteínas posee características diferentes en los rumiantes en relación con los no rumiantes. A nivel intestinal la degradación de las proteínas es similar en rumiantes y en no rumiantes. Las proteínas y los péptidos son degradados hasta oligopéptidos por la acción de las enzimas proteolíticas pancreáticas (tripsina, quimotripsina y carboxipeptidasa), luego los oligopéptidos son degradados por las oligopeptidasas de la membrana apical de los enterocitos liberando aminoácidos di y tripéptidos que finalmente son absorbidos. Sin embargo, a diferencia de los no rumiantes, la proteína que llega

al intestino del rumiante es diferente de la ingerida con la dieta, debido a que los microorganismos ruminales degradan más de la mitad las proteínas consumidas. Lo hacen mediante proteasas de membrana que desdoblan las proteínas en péptidos y algunos aminoácidos libres, los que son absorbidos por el microorganismo. Se discute el tamaño de los péptidos al absorberse, se pensaba que, en el ambiente reductor del rumen, en amoníaco (NH_3) tenían más de 16 aminoácidos, pero estudios recientes muestran que solo se absorben aquellos con no más de 5 aminoácidos. Estas discrepancias se deben a que resulta difícil determinar si ciertas peptidasas están en la membrana o ya incluidas en el soma microbiano. Una vez incorporados al microorganismo los péptidos son hidrolizados hasta aminoácidos, los cuales pueden ser empleados para sintetizar proteína microbiana o bien, como ocurre con la mayor parte de ellos, son utilizados como fuente energética. En este caso los microorganismos separan el grupo amino del aminoácido y lo liberan al medio ruminal como un producto de desecho, y emplean la cadena carbonada para obtener energía como si se tratara de un hidrato de carbono. Por otro lado, los grupos amino ($-\text{NH}_2$) libres se convierten, por adiciones de H^+ 3) y luego en amonio (NH_4^+), por lo cual la concentración de este último sirve como un indicador de la actividad proteolítica en el rumen. Los protozoarios poseen mayor capacidad proteolítica que las bacterias y los hongos, pero debido a que se encuentran en menor cantidad son responsables solo del 10 al 20 % de la actividad proteolítica ruminal, a la que los hongos contribuyen en un porcentaje todavía menor y son fundamentalmente las bacterias las que realizan la mayor parte de la degradación proteica a nivel ruminal (más del 50 %). (Relling y Mattioli, 2003)

2.1.6. Metabolismo ruminal de los lípidos.

Los vegetales no son ricos en lípidos, pero sí en ácidos grasos esenciales. Los lípidos se encuentran normalmente en bajas cantidades en los alimentos de origen vegetal. Los forrajes frescos poseen lípidos celulares y de superficie. Los primeros incluyen principalmente fosfolípidos, semejantes a los vistos en las membranas animales y glucolípidos de membrana, especialmente galactolípidos, ricos en ácidos grasos esenciales. Los lípidos de superficie incluyen ceras y cutina y carecen de valor nutritivo. El porcentaje de ácidos

grasos en los forrajes verdes puede alcanzar el 8 a 10 % de la materia seca (MS) en el caso de pastos tiernos, observándose valores mínimos (0,5 a 1 % de la MS) en pastos henificados, o maduros y fructificados durante el verano. Los granos de oleaginosas, como girasol y soja, son ricos en lípidos (20-40 % de la MS) con un elevado contenido de triglicéridos. Las tortas, subproductos de la extracción del aceite, contienen hasta un 3 % de lípidos, mientras que los granos de cereales varían entre el 2,1 % (trigo) y el 7,1 % (avena). Tanto los forrajes como las semillas poseen un elevado porcentaje de ácidos grasos insaturados. Esto es importante debido a que los ácidos, linoleico (C18:2 n-6) y linolénico (C18:3 n-3) son considerados esenciales, o sea que deben ser aportados por la dieta porque el organismo es incapaz de sintetizarlo o bien lo hace por debajo de los requerimientos. El ácido araquidónico (C20:4 n-6), empleado para la síntesis de prostaglandinas, es considerado esencial a pesar de que puede ser sintetizado a partir del linoleico. De todas formas, la cantidad de los ácidos grasos insaturados que llegan al intestino delgado es mínima debido al proceso de biohidrogenación que ocurre en el rumen. (Relling y Mattioli, 2003)

2.1.7. Digestibilidad

2.1.7.1. Digestibilidad de los alimentos

Es la cantidad de alimento que no se excreta en las heces, y por tanto, que se considera absorbido. Es la proporción de lo ingerido que se absorbe. Conociendo cuánto excreta, puedo calcular lo que ha digerido. El conocimiento de la digestibilidad de los alimentos es básico para establecer su valor nutritivo y, por tanto, para la formulación de raciones para los animales rumiantes.

2.1.7.2. Digestibilidad *in vitro* de forrajes y concentrados

El proceso digestivo es un conjunto de fenómenos cuyo objetivo es proporcionar nutrimentos al animal, y está compuesto por el proceso de ingestión de alimento, la secreción de ácido clorhídrico y de enzimas en el tracto gastrointestinal, la hidrólisis de macromoléculas, la absorción de nutrientes y la excreción de productos de desecho. La combinación de los procesos de digestión y absorción es conocida como la digestibilidad de un

nutrimento, y está íntimamente relacionada con el valor nutritivo de los alimentos. La digestibilidad hace referencia a la cantidad de alimento que desaparece en el tracto digestivo o en un procedimiento de laboratorio debido a su solubilización o ataque por los microorganismos anaerobios ruminales.

La digestibilidad de dietas individuales varía de acuerdo a las condiciones de alimentación debiendo estandarizar las pruebas de digestibilidad. Consecuentemente la digestibilidad aparente puede ser considerada como el balance del alimento menos las heces, mientras que la digestibilidad verdadera es el balance entre la dieta y los residuos de alimento en las heces, exclusivamente en los productos metabólicos (García, 2002)

La definición de indigestión verdadera depende de la identificación de residuos de alimento que sobreviven el trayecto digestivo. El balance de materia perdida durante el pasaje por el aparato digestivo es la mayor medida reproducible por los ingredientes de la dieta. La importancia del concepto digestibilidad verdadera, radica en que esta representa la parte de alimento disponible para la digestión del animal o las enzimas microbianas.

Los métodos *in vitro* están relacionados más a la digestibilidad verdadera que a la aparente, porque estos son incapaces de estimar las pérdidas metabólicas por heces de origen endógeno. Las pérdidas metabólicas son mucho más influenciadas por el estado fisiológico y las condiciones del animal. (García, 2002)

2.1.7.3. Técnica descrita por Tilley y Terry modificada por Van Soest

Las generalidades de la metodología descrita por Tilley y Terry en 1963, presentan un procedimiento de digestibilidad *in vitro* junto a la respectiva descripción de regresión lineal simple a fin de evaluar la digestibilidad de los rumiantes y otorgar información de los valores de digestibilidad *in vivo* en relación a los respectivos de su procedimiento. En la evaluación estadística presentada por los autores se señala que los coeficientes *in vitro*

e in vivo se encuentran altamente correlacionados, presentando un coeficiente de correlación de Pearson entre 0,83 y 0,91. Esta metodología presenta etapas de incubación controladas con licor ruminal y pepsina, posteriormente, Van Soest modifica este procedimiento realizando incubaciones con una solución detergente (Goering y Van Soest, 1970). Este procedimiento de digestibilidad in vitro, utilizado en forma universal, consta de dos fases. La primera fase permite el estudio de la fracción fibrosa digestible y la fracción soluble digestible. (Goering y Van Soest, 1970).

La segunda fase involucra la solubilización con pepsina del residuo de la primera fase. De esta manera, se simula el desdoblamiento in vivo de la proteína de la dieta y la producida por los microorganismos ruminales, así como, las enzimas digestivas del abomaso. Esta segunda fase es modificada por Van Soest, al reemplazar la solubilización con pepsina del residuo de la primera fase por una determinación de fibra detergente neutro. En donde, la solución detergente neutro logra disolver una mayor cantidad de materia seca en comparación con la solución pepsina ácido, debido a que disuelve la pared celular de las bacterias y otros productos endógenos. (Goering y Van Soest, 1970).

De esta manera, el procedimiento modificado ofrece el coeficiente de la digestibilidad verdadera del forraje, mientras que el procedimiento original, el coeficiente de digestibilidad aparente. La ventaja de este método es que utiliza aparatos simples, es reproducible y permite la evaluación de múltiples muestras en forma simultánea. Sin embargo, la colección de licor ruminal y la dieta suministrada a los animales fistulados son los principales factores que logran alterar los resultados, debido a que es necesaria la normalización de la capacidad proteolítica del líquido ruminal dependiendo del material a evaluarse.

(Chakeredza et al, 1998; Jarrige, 1981).

2.1.7.4. Técnica Daisy Ankom II

El principio de este método es simular la fermentación del rumen en condiciones *in vitro*, lo que se logra a través de la mezcla de soluciones compuestas por minerales, fuentes de nitrógeno y agentes reductores que ayudan a mantener la anaerobiosis característica de este proceso, más la adición de líquido ruminal. Esta mezcla se incuba por 48 horas a temperatura constante de $39.2 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, con agitación circular constante (Daisy II - Incubator Ankom Technology 2014)

El protocolo recomendado por el fabricante del sistema de incubación DAISY II ® (Ankom 2014), usando bolsas filtro ANKOM F-57 (Ankom Technology, Macedon, NY, EUA) con tamaño de poro de $25 \mu\text{m}$ y dimensiones de $5 \times 4 \text{ cm}$ fabricadas de poliéster/polietileno con filamentos extruidos en una matriz de tres dimensiones (Giraldo et al., 2007).

2.1.7.5. Digestibilidad *in vitro* de la FDN

Recientemente, los laboratorios de análisis de forrajes han comenzado a evaluar los mismos para la digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN). Se está realizando una evaluación de los forrajes para la digestibilidad de la FDN para ayudar a predecir la digestibilidad total del forraje. Hay varias razones importantes por las que se están evaluando los forrajes por este concepto.

Primero, la investigación ha demostrado que las vacas lecheras lactantes comerán más materia seca (MS) y producirán más leche cuando se alimenten con forrajes que tengan una mayor digestibilidad de la FDN.

En segundo lugar, mientras que la lignina y la fibra de detergente ácido (FDA) se han utilizado en el pasado para estimar la digestibilidad potencial de la FDN y la digestibilidad total del forraje, la investigación reciente ha demostrado que el FDA y la lignina no representan toda la variación en la FDN o la digestibilidad del forraje.

En tercer lugar, la digestibilidad del forraje se calcula en los Requerimientos nutricionales del ganado lechero (NRC, 2001) utilizando un enfoque sumativo donde se suma la energía aportada por proteínas, grasas, carbohidratos no fibrosos (CNF) y FDN. Se requiere una predicción de la digestibilidad de la FDN para usar esta predicción de energía sumativa para forrajes. (Hoffman et al; 2001) La digestibilidad de la FDN del forraje se puede medir de dos maneras:

2.1.7.5.1. Digestibilidad *in situ* de FDN

Con el método *in situ*, los forrajes se colocan en pequeñas bolsas de dacrón y luego se insertan en el rumen de una vaca a través de una cánula ruminal. La cantidad de FDN antes de la incubación ruminal se compara con la cantidad de FDN restante después de la incubación ruminal y se calcula la digestibilidad de la FDN. El método *in situ* es un muy buen método para estimar la digestibilidad de la FDN de los forrajes y a menudo se utiliza en investigaciones y otros programas de evaluación de forrajes. Sin embargo, el NRC, (2001) no utiliza el método *in situ* como base para la digestibilidad de la FDN de los forrajes porque no existe una gran base de datos uniforme.

2.1.7.5.2 Digestibilidad *in vitro* de la FDN

Un segundo método para medir la digestibilidad de la FDN se llama método *in vitro*. La determinación de digestibilidad *in vitro* de la FDN se realiza de la siguiente manera:

1. La muestra de forraje se pesa en un matraz de vidrio.
2. Se agregan soluciones tampón, macro y microminerales junto con fluido ruminal extraído de una vaca ajustada a una cánula ruminal.
3. El forraje, los amortiguadores y el fluido ruminal se incuban en un baño de agua en un ambiente anaeróbico (dióxido de carbono) a la temperatura corporal de una vaca (102 ° F) durante 48 horas.
4. El matraz que contiene la muestra de forraje, los tampones y el fluido ruminal se retira del baño de agua y la solución restante se calienta a reflujo en solución de FDN durante 1 hora.

5. Después de calentar a reflujo en solución de FDN durante 1 hora, la solución restante se filtra y el FDN que resistió la digestión por las bacterias del rumen se retiene en el filtro.

6. El FDN digerible se calcula por diferencia.

El ensayo in vitro descrito anteriormente se denomina comúnmente digestibilidad in vitro de materia seca verdadera (DIVMS) y fue desarrollado por Goering y Van Soest, en 1970

Se han realizado pocos cambios en el ensayo in vitro a lo largo de los años, pero algunos investigadores y laboratorios han reducido los tiempos de incubación de 48 h a 30 o 24 h, alegando que los tiempos de incubación más cortos describen mejor el potencial de digestión de la FDN en vacas lecheras de alta producción. Es lógico reducir el tiempo de incubación del ensayo in vitro a 30 o 24 horas porque el alimento no se retiene en el rumen de una vaca lechera de alta producción durante 48 horas.

Sin embargo, en el sentido amplio, este problema es algo irrelevante porque cambiar el tiempo de incubación del ensayo reduce la cantidad de FDN digerida, por lo tanto, los valores de digestibilidad de FDN obtenidos a partir de digestiones de 30 o 24 horas no pueden compararse con los valores de digestibilidad de la FDN de 48 horas enumerados en el NRC, (2001). Además, la digestibilidad de la FDN del forraje incubado durante 24, 30 o 48 horas está altamente correlacionada. Por lo tanto, cualquier punto de tiempo de incubación clasifica la digestibilidad de la FDN del forraje de la misma manera. El NRC, 2001 utiliza las concentraciones de lignina y FDN para predecir la digestibilidad potencial de la FDN y aconseja el uso de un sistema in vitro como base para la determinación directa de la digestibilidad de la FDN. Esta recomendación se hace porque hay disponible una base de datos grande y más uniforme de referencias de digestibilidad in vitro de la FDN. (Hoffman et al; 2001)

Primero, es muy importante recordar que el contenido de FDN total del forraje sigue siendo un factor dominante en determinar la calidad general del forraje. Por ejemplo, un forraje que contiene 40% de FDN es generalmente de mayor calidad que un forraje que contiene 60% de FDN. Diferencias en la digestibilidad de la FDN entre especies forrajeras comunes

se presentan en la Figura 1. En general las leguminosas tienen menos FDN total y más baja digestibilidad del FDN debido a una mayor lignificación en comparación a las gramíneas. El ensilaje de pasto y el heno tienen un amplio rango de digestibilidad de la FDN porque las especies de pastos son muy diversas y se utilizan en rangos extremos en madurez (por ejemplo, pastoreo de pasto en estado vegetativo versus alimentación en estado de paja). El ensilaje de maíz puede tener una amplia gama de digestibilidad de la FDN, pero es raro ver los extremos, porque el ensilaje de maíz se cosecha y almacena dentro de un rango de madurez relativamente estrecho. Valores extremos en la digestibilidad del FDN del maíz ensilaje pueden ocurrir cuando el ensilaje de maíz se cosecha en una etapa demasiado madura (digestibilidad de la FDN = baja), o cuando se utiliza una variedad BMR (Brown Midrib) (digestibilidad de la FDN = alta).

2.2. Antecedentes de investigación

2.2.1. Análisis de tesis

Tasa de degradación y digestibilidad *In Vitro* de la Fibra en Detergente Neutro de Tres Híbridos de maíz Forrajero (*Zea mays*)

Antonio Navarrete Alfonso (2005)

Con la finalidad de determinar la tasa de degradación y digestibilidad in vitro de la FDN se utilizaron tres híbridos de maíz forrajero como son: AN447, AN-388 y P30G54 (comercial) los cuales se obtuvieron en el poblado de Villa Hidalgo, Municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit en 2004. Cosechados a los 100 días de edad, para determinar su contenido de FDN y DFDN se incubaron por triplicado a diferentes tiempos de incubación (12, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96.). El análisis químico fue realizado en el Laboratorio de Nutrición Animal de la UAAAN. Para determinar la cinética de la digestión de la fibra de las muestras en estudio, se utilizó la técnica de digestibilidad de Tilley y Terry (1963) con las modificaciones de Goering y Van Soest (1970) se analizó cada una de las muestras. El líquido ruminal se obtuvo de un novillo fistulado, adaptado a una dieta de heno de avena, evitando el uso de grandes cantidades de concentrado y ensilajes ya que el número de bacterias celulolíticas podría disminuir. Fue necesaria la utilización de un termo puesto que existía una distancia

considerable de los corrales al laboratorio. Para el análisis de la cinética de la digestión de la FDN se transformaron logarítmicamente los datos obtenidos de la fibra potencialmente digestible (FPD) residual (%). Se uso regresión lineal para estimar los parámetros de la digestión considerando el tiempo de 96 como la extensión máxima de la digestión fibra potencialmente indigestible (FPI) en la muestra original como FPD. La tasa de degradación se obtuvo mediante regresión lineal de los logaritmos naturales de los residuos de FPD en cada uno de los tiempos de incubación. El objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad de la tasa de degradación y la digestibilidad de la FDN. Se encontró una mayor tasa de degradación para el híbrido AN-388 (0.83%/h) comparado con P30G54 (0.81) y AN-447 (0.65%/h). En cuanto a digestibilidad se concluye que quizás el P30G54 requiere un mayor tiempo de incubación debido a que existe mayor diferencia entre la 84 y 96h.

Evaluación nutricional del ensilaje de maíz cosechado en cuatro etapas fenológicas elaborado con tres calibres de picado

Daniela Alexandra Martínez Turcios (2017)

El ensilaje de maíz es un método que permite la conservación de forraje, el cual proporciona altos contenidos energéticos debido a la concentración de almidones en el grano. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad nutricional de los ensilajes elaborados en las etapas reproductivas del maíz R3, R4, R5 y R6 elaborado con tres calibres de picado de partícula. Se llevó a cabo en el lote de Monte Redondo de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Se utilizó una densidad de 93,750 plantas/ha, donde se establecieron 12 combinaciones (cuatro estadios y tres partículas), con cuatro repeticiones con un total de 48 parcelas experimentales. Se aplicó el método de espectroscopía por infrarrojo cercano (NIRS) para los análisis de almidón, fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), grasa, proteína, ceniza, materia seca y humedad para determinar composición nutricional del ensilado. Se encontró diferencia estadística en la composición nutricional de todos los estadios reproductivos. En los estadios de R3 a R6 se incrementó la materia seca (MS) almidón y disminuye en fibra ácido detergente, fibra neutra

detergente, humedad y grasa. El estadio reproductivo que presentó mejor composición nutricional fue R6 con un mayor contenido de materia seca, almidón y grasa, y menor contenido de ceniza, fibra ácido detergente y fibra neutro detergente. Con excepción de la ceniza, el calibre de picado no influyó en la composición nutricional, además se encontró una interacción entre el estadio y la partícula.

2.2.2. Análisis de trabajos de investigación

Nutritional characteristics and *in vitro* digestibility of silages from different corn cultivars harvested at two cutting heights

Hamilton Caetano, Mauro Dal Secco de Oliveira, José Esler de Freitas Júnior, Aníbal Coutinho do Rêgo, Marina Vieira de Carvalho, Francisco Palma Rennó (2011)

El objetivo de este estudio fue evaluar los rasgos nutricionales y la digestibilidad *in vitro* de ensilajes de maíz de diferentes cultivares de maíz recolectados a dos alturas de corte. Se evaluaron 11 cultivares (Dina 766, Dina 657, Dina 1000, P 3021, P 3041, C 805, C 333, AG 5011, FO 01, Dina co 9621 y BR 205) cosechados a 5 cm por encima del suelo (bajo) y 5 cm por debajo de la intersección de la primera oreja (alta). Se utilizó un diseño de bloques al azar (tres bloques), dispuestos en un esquema factorial de 11 × 2. Los ensilajes de plantas recolectadas a gran altura de corte presentaron un contenido medio de materia seca significativamente superior a los ensilajes de plantas cosechadas a baja altura. Los cultivares FO 01, AG 5011, Dina co 9621 y Dina 766 presentaron mayor contenido de proteína cruda que los cultivares C 805, P 3041 y P 3021, que presentaron los menores contenidos de este nutriente. El aumento en la altura de corte incrementó los coeficientes de digestibilidad verdadera *in vitro* de la materia seca y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del ensilado. Los aumentos en la altura de corte mejoró valor nutritivo de ensilajes al disminuir las concentraciones de fracciones fibrosas y aumentar digestibilidad *in vitro* de materia seca.

Nutritive value of corn silage from intensive dairy farms in Brazil

Isabella Lasmar de Oliveira, Luciana Miranda Lima, Daniel Rume Casagrande, Márcio André Stefanelli Lara, Thiago Fernandes Bernardes (2017)

El objetivo de esta investigación fue caracterizar el valor nutritivo del ensilaje de maíz elaborado en granjas lecheras y demostrar las variaciones nutricionales entre los ensilajes ubicados en la parte superior y en el centro de un silo búnker. Se visitaron 32 granjas lecheras en cuatro estados brasileños. Se eligió un silo búnker de maíz de cada finca y se tomaron muestras recogidas de las partes superior y central. Se evaluaron el valor nutritivo, los productos finales de la fermentación y los recuentos microbianos. La leche prevista se determinó mediante la hoja de cálculo de Milk2006. Se calculó la media, la desviación estándar, el máximo, el mínimo y el intervalo de confianza al 95% de todos los datos. Las cenizas, la fibra detergente neutra (FDN), el almidón, y la digestibilidad in vitro del FDN y la materia (MS) se compararon con el valor de referencia. Ambos procedimientos estadísticos se realizaron a través del PROC MEANS de SAS. Los valores promedio encontrados en el centro para FDN, almidón, nutrientes digestibles totales (NDT-1x) y leche estimada, fueron $503 \text{ g/kg}^{-1} \text{ MS}$, $308 \text{ g/kg}^{-1} \text{ MS}$, 583 g/kg^{-1} y $1,124 \text{ kg/t}^{-1}$, respectivamente. Los ensilajes superiores presentaron un promedio de NDT-1x y leche prevista de 559 g kg^{-1} y 1046 kg t^{-1} , respectivamente. Para la digestibilidad de la FDN y la concentración de almidón, 53,1% y el 62,5% de las muestras del centro presentó un valor igual o superior al valor de referencia (500 g/kg^{-1} y $300 \text{ g/kg}^{-1} \text{ MS}$ para digestibilidad del FDN y concentración de almidón, respectivamente). En general, el ensilado de maíz producido en granjas lecheras intensivas en Brasil tuvo un valor nutritivo satisfactorio, especialmente en términos de concentración de almidón. Algunos parámetros, como la concentración de fibra y su digestibilidad deben mejorarse. Este estudio también muestra que un silo puede contener dos tipos diferentes de ensilaje: superior y central. Esto alerta a los nutricionistas y agricultores cuando se alimentan y toman muestras de ensilaje de maíz de los silos búnker.

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Localización del trabajo

3.1.1.1 Espacial

El trabajo de campo para obtención de muestras se realizó en la zona de irrigaciones de la franja costera de la Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa.

Las muestras obtenidas fueron analizadas en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación Animal de la Universidad Católica de Santa María, localizado en el Fundo La Banda - Huasacache, Distrito de Hunter, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa.

3.1.1.2. Temporal

El presente trabajo de investigación se realizó entre los meses de julio y diciembre del 2020

3.1.2. Materiales biológicos

Muestras de recursos forrajeros de ensilaje de maíz de 03 variedades diferentes

3.1.3. Materiales de laboratorio

- Frascos estériles de 100 ml. y 500 ml de vidrio.
- Pipetas de 1 ml y 10 ml.
- Tubos de ensayo.
- Gradilla.
- Agua destilada.
- Beakers de 100 ml, 400 ml y 1000 ml.
- Barrillas de vidrio.
- Mandil.
- Barbijo.
- Bolsitas de degradabilidad F-57 Ankom

3.1.4. Materiales de campo

- Cooler

- Guantes de látex.
- Bolsa Ziploc de cierre hermético
- Plumón de tinta indeleble

3.1.5. Equipos y maquinarias

- Estufa de aire forzado a 65 °C.
- Horno de Esterilización
- Balanza electrónica, sensibilidad 0.01 gr.
- Equipo de digestión, destilación y titulación de Microkjheldal
- Equipo de extracción de grasas tipo Soxhlet
- Equipo Incubador Daisy Ankom II ®.
- Equipo destilador de agua.
- Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg.
- 01 Equipo sellador de bolsas de dacrón.
- 01 equipo Laptop.
- Cámara digital.
- Memoria USB.

3.1.6. Otros materiales

- Computadora con software Word, Excel.
- Fichas para el registro de las variedades muestreadas.
- Cronograma de muestro.

3.2. Métodos

3.2.1. Muestreo

3.2.1.1. Universo

Estuvo compuesto por las muestras de ensilaje de maíz producido en la Irrigación de Majes y Santa Rita de 03 variedades diferentes Insignia 860 (BT-01) Dekalb 7500 (BT-02) y Dekalb 399 (BT-03)

3.2.1.2. Tamaño de muestra

Se utilizó una muestra de tamaño conveniente consistente en 03 repeticiones por cada variedad y tiempo de incubación, haciendo un total de 06 muestras de cada variedad

3.2.1.3. Procedimiento de muestreo

El procedimiento de muestreo fue de tipo aleatorio simple dentro de la base de datos de siembras de la empresa proveedora de semillas para cada una de las 03 variedades en estudio

3.2.2. Métodos de evaluación

3.2.2.1. Metodología de la experimentación

3.2.2.1.1. Metodología para la elección de las unidades de experimentación

Los silos seleccionados de cada variedad provinieron de las Irrigaciones de Majes y Santa Rita, fueron sembrados entre julio y agosto del 2020 y cosechados a los 110 +/- 10 días mediante cosechadora mecanizada autopropulsada y conservados en silos tipo bunker o parva durante un tiempo mínimo de 30 días.

Una vez seleccionados los silos confeccionados con maíz forrajero de cada una de las variedades en estudio, se obtuvieron 10 submuestras de diferentes partes de la cara externa del mismo, estas se agruparon en una sola y mediante cuarteos sucesivos, se obtuvo una muestra de 1 kg aproximadamente, la cual fue almacenada y rotulada en una bolsa ziploc de cierre hermético y transportada en una caja conservadora con hielo seco hasta su posterior análisis en laboratorio. (Undersander et al, 2005)

3.2.2.1.2. Metodología de análisis químico nutricional de las muestras

Los diferentes componentes nutricionales de las muestras de ensilaje de maíz se evaluaron en base a metodologías descritas por la Association of Official Analytical Chemists. (AOAC, 2000) para los siguientes componentes: Análisis químico proximal

-Humedad (H)

Se determinó por el método gravimétrico de secado en una estufa al vacío a 105°C, por un periodo de 12-24 horas (hasta un peso constante) (método 925.09) según la AOAC.

-Proteína Cruda (PC)

Se determinó mediante el método volumétrico de titulación ácido-base de microKjelhdal, el cual comprende tres fases: digestión, destilación y

titulación, obteniendo como resultado final la cantidad de nitrógeno total (método 928.08) según la AOAC.

-Extracto etéreo (EE)

Se determinó por el método de extracción con solvente orgánico mediante el método Soxhlet (método 920.39) según la AOAC.

-Cenizas (CZS)

Se determinó mediante la eliminación de materia orgánica por calcinación a 550°C por 7 horas (método 942.05) según la AOAC

Análisis químico de la pared celular

-Fibra detergente Neutra (FDN)

Se obtuvo mediante la separación de componentes nutricionales solubles en laurilsulfato de sodio de los que no son aprovechables y el residuo se consideró como la fibra total (método 937.18) según la AOAC.

-Fibra detergente Acida (FDA)

Se obtuvo mediante la separación de componentes nutricionales solubles de los que no son aprovechables. Se determinó el grado de digestibilidad de las fibras, en el alimento la muestra será digerida en una solución de acetil-trimetil-amonio y ácido sulfúrico y el residuo se consideró como la fibra no digerible (método 937.19) según la AOAC

-Lignina detergente Acida (FDA)

Se obtuvo mediante la digestión del residuo de FDA, en ácido sulfúrico al 72%, en un beaker durante 2 horas (ANKOM,2020)

Análisis de proteínas ligadas a la fibra

-Proteína insoluble en detergente neutro (PIDN)

Se determinó mediante la cuantificación de la cantidad de N ó proteína en los residuos de la FDN

-Proteína insoluble en detergente ácido (PIDA)

Se determinó mediante la cuantificación de la cantidad de N ó proteína en los residuos de la FDA

Parámetros estimados por ecuaciones de cálculo

-Carbohidratos no fibrosos (CNF)

Fueron estimados según el modelo NRC (2001) en función a los análisis químicos previamente descritos.

-Energía Neta de Lactación: (ENL)

Se obtuvo mediante la estimación del modelo NRC (2001) según los valores químicos obtenidos en los análisis anteriores.

3.2.2.1.3. Metodología del análisis de digestibilidad *in vitro* de la MS y del FDN

Se preparó con anterioridad una solución buffer (saliva artificial) con fosfato de sodio di-básico anhidro (3.6 g/L), bicarbonato de sodio (9.8 g/L) y cloruros de sodio (47 g/L), calcio (4 g/L), potasio (57 g/L) y magnesio (6 g/L), aclimatada en baño maría a 40 °C. Se determinó el pH de la solución, siendo óptimo 7 ± 0.5 , de no cumplir con ese requerimiento se niveló adicionando hidróxido de sodio ($\text{pH} < 6.5$) y/o ácido sulfúrico ($\text{pH} > 7.5$). Se utilizó una relación solución buffer: líquido ruminal (3:2).

Preparación del Sistema de Incubación Daisy Ankom II

- Previo a la incubación se encendió el sistema ANKOM DAISY II para mantener la temperatura requerida de $39.5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5$. Esta temperatura y condiciones simulan el estado del rumen, el proceso de mezcla del líquido ruminal (9.6 L) y solución buffer (14.4 L) se mantuvo en presencia de CO_2 para evitar pérdida de los microorganismos anaeróbicos.

Procesamiento para el análisis de digestibilidad *in vitro* de las muestras.

- Para la prueba de digestibilidad *in vitro* se depositaron 0.5 g de las muestras molidas a 2 mm en un molino ciclónico (Foss Cyclotec) en el interior de bolsas ANKOM F-57, de acuerdo a la metodología planteada por (ANKOM, 2014). El líquido ruminal se obtuvo de vacas Holstein beneficiadas y procedentes de establos con dietas intensivas, el cual fue trasladado al laboratorio en botellas de plástico temperadas a 39-40°C en una caja isotérmica hasta su llegada al laboratorio. Se incubó el material a

las 30 y 48 horas, por cada tratamiento o variedad se prepararon 03 muestras. Finalmente se retiraron las muestras para ser lavadas con agua corriente, y secadas en una estufa de circulación de aire forzado a 65 °C por 48 horas, para posteriormente realizar los cálculos respectivos de digestibilidad *in vitro* de la materia seca y del FDN.

3.2.2.2. Recopilación de la información

a. En el campo

Entrevista a los ganaderos, solicitando información de los silos de maíz que fueron objeto de estudio

b. En el laboratorio

Mediante el análisis químico nutricional y de digestibilidad *in vitro* de las muestras

c. En la biblioteca

Libros relacionados al tema.

Revistas científicas especializadas

d. En otros ambientes generadores de la información científica

Internet
páginas Web relacionadas al tema.

Intercambio de información con profesionales de campo.

Eventos científicos relacionados nacionales e internacionales

3.3. Variables de respuesta

3.3.1. Variables independientes

Variedades de maíz ensilado: BT-01, BT-02, BT-03.

Tiempos de incubación: 30 y 48 hrs

3.3.2. Variables dependientes

Análisis químico proximal (% MS)

Análisis químico de la pared celular (% MS)

Análisis de las proteínas ligadas a la fibra (% MS)

Porcentaje de digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca (%DIVMS),

Porcentaje de digestibilidad *in vitro* de la Fibra Detergente Neutra (% DIVFDN)

3.4. Evaluación estadística

3.4.1. Diseño Experimental

3.4.1.1. Unidades experimentales

Cada una de las muestras de ensilaje de maíz provenientes de los silos seleccionados por cada variedad, constituyeron las unidades experimentales

3.4.1.2. Análisis estadístico

Los valores nutricionales se evaluaron para cada variedad y se compararon mediante análisis de varianza en un diseño completamente al azar (Rodríguez del Ángel, 2000) con tres tratamientos (variedades) y 6 repeticiones por cada uno de ellos, según el modelo lineal siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

para $i = 1, a$ $j = 1, \dots, b$, donde:

- μ es el efecto promedio global.
- α_i es el efecto del tratamiento (variedad de maíz con 3 niveles)
- ε_{ij} el término de error

Los valores de digestibilidad *in vitro* de la MS y de la FDN se analizaron estadísticamente dentro de un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de tratamientos (Rodríguez del Ángel, 2000) de 3 x 2, con tres variedades de maíz (BT-01, BT-02 y BT-03) y 2 tiempos de incubación (30 y 48 hrs), según el modelo lineal siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

para $i = 1, a$ $j = 1, \dots, b$, $k = 1, n$ donde:

- μ es el efecto promedio global.
- α_i es el efecto incremental sobre la media causado por el nivel i del factor A (variedad de maíz con 3 niveles)
- β_j el efecto incremental sobre la media causado por el nivel j del factor B (tiempo de incubación con 2 niveles)

- $(\alpha\beta)_{ij}$ el efecto incremental sobre la media causado por la interacción del nivel i del factor A y el nivel j del factor B.
- ε_{ijk} el término de error

3.4.1.3. Análisis de significancia

Para establecer diferencias estadísticas entre tratamientos se utilizó un análisis de varianza, y para la comparación de promedios una prueba de t a un nivel de significancia de $(\alpha=0.05)$.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados

4.1.1. Determinación del valor químico proximal de las muestras en estudio

Se determinó la composición químico proximal de las 03 variedades bajo estudio, los cuales se resumen en el siguiente Cuadro N° 1

Tabla 2. Composición químico proximal de las 03 variedades de ensilaje bajo estudio

Nutriente	BT-01	BT-02	BT-03	p-value
Materia seca (MS)	31.3 ^a	34.0 ^b	32.5 ^a	0.018
Proteína cruda (PC)	7.6 ^a	7.5 ^a	7.6 ^a	0.790
Extracto etéreo (EE)	1.3 ^a	2.2 ^b	2.0 ^b	0.013
Cenizas (CZS) N = 6	7.0 ^a	5.6 ^b	6.6 ^a	0.000

Promedios con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$)

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de materia seca de las 03 variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-02 con 34.0% seguida de la BT-03 con 32.5% y finalmente BT-01 con 31.3%, sin diferencias entre estas últimas. Según Myers y Amaral-Phillips (2002) el % de MS de un buen ensilaje de maíz debe estar en alrededor 34% (Rango de 32 a 35%). La Cooperativa de Extensión de la Universidad de Cornell (2000) recomienda de 33 a 35% de MS para silos tipo bunker y de 33 a 38% para silos tipo torre o bolsa. Caetano et al., (2011) en un estudio de 11 variedades de maíz ensilado en el suroeste de Brasil, tuvieron valores desde 29.4 hasta 34.9% de MS. La variedad BT-02, fue la única que estuvo dentro del rango promedio establecido, las otras dos estuvieron ligeramente por debajo, ello probablemente por el momento de corte en el que fueron cosechadas.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de proteína cruda entre las 03 variedades correspondiendo a BT-01 un valor de 7.6% igual a BT-03 con 7.6% y finalmente BT-01 con 7.5%. Según Myers y Amaral-Phillips (2002) el % de PC de un buen ensilaje de maíz debe estar en alrededor 8%. La Cooperativa de Extensión de la Universidad de Cornell (2000)

recomienda de 7 a 9%. Caetano et al., (2011) en un estudio de 11 variedades de maíz ensilado en el suroeste de Brazil, tuvieron valores desde 7.4 hasta 8.8% de PC. El valor de PC está determinado genéticamente por la variedad de maíz y es un parámetro que tiene muy poca variación si es que se considera un mismo momento de corte, es por ello la escasa diferencia entre variedades obtenida en nuestro estudio.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de extracto etéreo de las 03 variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-02 con 2.2% seguida de la BT-03 con 2.0% sin diferencias entre ellas, y finalmente BT-01 con 1.3%. Caetano et al., (2011) reportaron un rango de EE de 2.4 hasta 3.1% para las 11 variedades de maíz evaluadas, en el suroeste de Brasil. Jasuai et al., (2010) en un estudio de caracterización de forrajes de la región sur del país reportaron para ensilaje de maíz grano pastoso un valor de 2.56% de EE. Nuestros valores están por debajo de los reportados por la bibliografía esto probablemente al contenido de grano y la menor concentración de clorofila y vitaminas liposolubles que suelen ser parte de la grasa cruda o extracto etéreo en este tipo de forrajes.

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los valores de cenizas de las 03 variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-01 con 7.0% seguida de la BT-03 con 6.6% sin diferencias entre ellas, y finalmente BT-02 con 5.6%. La Cooperativa de Extensión de la Universidad de Cornell (2000) recomienda valores de menos del 5%. Caetano et al., (2011) en un estudio de 11 variedades de maíz ensilado en el suroeste de Brasil, tuvieron valores desde 2.9 hasta 3.9% de CZS. Jasuai et al., (2010) en un estudio de caracterización de forrajes de la región sur del país reportaron para ensilaje de maíz grano pastoso un valor de 4.61% de CZS Los valores obtenidos en el presente estudio superan los valores máximos permitidos de 5%, esto debido probablemente a la contaminación con tierra de algunas de las muestras analizadas.

4.1.2. Determinación el contenido de la pared celular de las muestras en estudio.

Se determinó la composición química de la pared celular de las 03 variedades bajo estudio los cuales se resumen en el siguiente Cuadro N° 2

Tabla 3. Composición química de la pared celular de las 03 variedades de ensilaje bajo estudio

<i>Nutriente</i>	<i>BT-01</i>	<i>BT-02</i>	<i>BT-03</i>	<i>p-value</i>
<i>Fibra detergente neutra (FDN)</i>	44.1 ^a	34.8 ^c	38.7 ^b	0.000
<i>Fibra detergente acido (FDA)</i>	27.2 ^a	19.6 ^c	23.1 ^b	0.000
<i>Lignina detergente acido (LDA)</i>	3.8 ^a	3.8 ^a	4.0 ^a	0.732
<i>Prot. Insol en Det. Neutro (PIDN)</i>	1.3 ^a	1.1 ^a	1.2 ^a	0.213
<i>Prot. Insol en Det. Acido (PIDA)</i> N=6	0.5 ^a	0.5 ^a	0.8 ^a	0.052

Promedios con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$)

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los valores de fibra detergente neutra de todas las variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-01 con 44.0% seguida de la BT-03 con 38.7%, y finalmente BT-02 con 34.8%. Según Myers y Amaral-Phillips (2002) el % de FDN de un buen ensilaje de maíz debe estar en alrededor 44%. La Cooperativa de Extensión de la Universidad de Cornell (2000) recomienda de 38 a 44%. Caetano et al., (2011) en un estudio de 11 variedades de maíz ensilado en el suroeste de Brasil, tuvieron valores desde 43.3 hasta 53.3% de FDN. Los valores encontrados en su mayoría se encuentran dentro de los rangos óptimos, excepto la variedad BT-02 que estuvo por debajo. Valores altos de FDN indican inmadurez a la cosecha y viceversa

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los valores de fibra detergente acida de todas las variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-01 con 27.2% seguida de la BT-03 con 23.1%, y finalmente BT-02 con 19.6%. Según Myers y Amaral-Phillips (2002) el % de FDA de un buen ensilaje de maíz debe estar en alrededor 26%. La Cooperativa de Extensión de la Universidad de Cornell (2000) recomienda de 24 a 34%. Caetano et al., (2011) en un estudio de 11 variedades de maíz ensilado en el suroeste de Brasil, tuvieron valores desde 26.2 hasta 34.5% de FDA. Los

valores obtenidos estuvieron en el rango salvo la variedad BT-02 que tuvo valores por debajo de 20%. Los valores de FDA están relacionados estrechamente con los de FDN por lo que sus variaciones se justifican por las mismas razones.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de lignina detergente ácido entre las 03 variedades correspondiendo a BT01 un valor de 3.8% igual a BT-02 con 3.8% y finalmente BT-03 con 4.0%. Caetano et al., (2011) en un estudio de 11 variedades de maíz ensilado en el suroeste de Brasil, tuvieron valores desde 2.53 hasta 3.86% de LDA. Todos los valores encontrados en el presente estudio concuerdan con los reportados por la bibliografía. La lignina por ser un compuesto estructural de la planta, está controlado genéticamente, pero también por el estado de maduración y la temperatura ambiental los cuales lo hacen incrementar en estaciones calurosas.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de proteína insoluble en detergente neutro entre las 03 variedades correspondiendo a BT-01 un valor de 1.3% igual a BT-02 con 1.1% y finalmente BT-03 con 1.2%. Caetano et al., (2011) en un estudio de 11 variedades de maíz ensilado en el suroeste de Brasil, tuvieron valores desde 1.7 hasta 2.4% de PIDN. Nuestros valores estuvieron por debajo de los reportados en este estudio, lo cual es deseable ya que son fracciones de proteína ligada a la fibra que no se digieren correctamente y por lo tanto deben mantenerse en valores mínimos

Tampoco se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de proteína insoluble en detergente ácido entre las 03 variedades correspondiendo a BT-01 un valor de 0.5% igual a BT-02 con 0.5% y finalmente BT-03 con 0.8%. Caetano et al., (2011) en un estudio de 11 variedades de maíz ensilado en el suroeste de Brasil, tuvieron valores desde 0.5 hasta 1.3% de PIDA. Nuestros valores estuvieron dentro de los rangos reportados en este estudio, lo cual es deseable ya que son fracciones de proteína ligada a la fibra más indigestible, y que están relacionadas con sobre calentamiento del silo por alto contenido de

humedad, produciendo la reacción de Maillard, por lo tanto, deben mantenerse en valores mínimos.

4.1.3. Estimación del valor energético de las muestras bajo estudio

Se estimó el valor energético de las 03 variedades bajo estudio según el modelo de cálculo de la NRC (2001) los cuales se resumen en el siguiente Cuadro N°3

Tabla 4. Valor energético de las 03 variedades de ensilaje bajo estudio

Nutriente	BT-01	BT-02	BT-03	p-value
Carbohidratos no fibrosos (CNF)*	41.3 ^a	51.0 ^c	46.4 ^b	0.000
Energía neta de Lactación (EN _L)** N=6	1.46 ^a	1.59 ^b	1.52 ^a	0.000

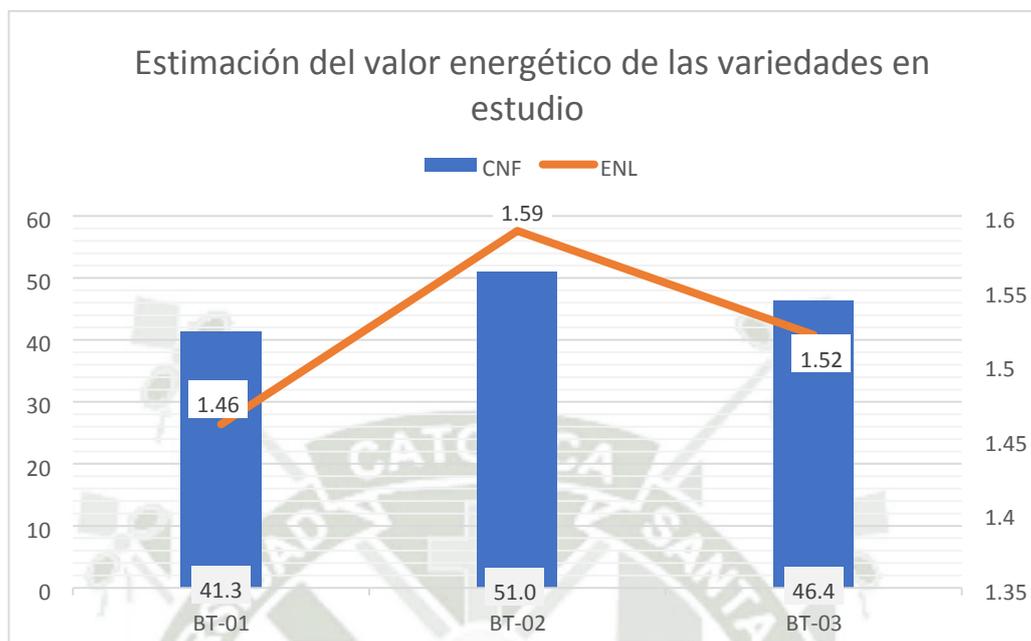
Promedios con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$)

* Estimados según el modelo de cálculo NRC (2001)

** Medida en Mcal/kgMS (Mcal por kg de materia seca)

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los valores de carbohidratos no fibrosos de todas las variedades, correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-02 con 51.0% seguida de la BT-03 con 46.4%, y finalmente BT-01 con 41.3%. Lasmar de Oliveira et al., (2017) en un estudio de evaluación de valor nutritivo de ensilajes de maíz de 32 establos lecheros en el suroeste de Brasil, encontraron un promedio de 35% de CNF con un rango de 20.5 a 46.3%. Nuestros valores se encuentran dentro de este rango reportado con excepción de la variedad BT-02 que sobrepasó este rango. Los CNF miden el almidón, los azúcares y las pectinas, y se calculan por diferencia de los demás parámetros químicos ya mencionados, por lo que pueden reflejar algunas imprecisiones o valores atípicos mostrados en estos, o en su defecto denotar un mayor contenido de almidón, lo cual no fue medido en este estudio.

Gráfico N° 1 Estimación del valor energético de las variedades en estudio



Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los valores de energía neta de lactación entre las variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-02 con 1.59 Mcal/kgMS seguida de la BT-03 con 1.52 Mcal/kgMS y finalmente BT-01 con 1.46 Mcal/kgMS sin diferencias entre estas últimas. Lasmar de Oliveira et al., (2017) en un estudio de evaluación de valor nutritivo de ensilajes de maíz de 32 establos lecheros en el suroeste de Brasil, encontraron un promedio de 1.31 Mcal/kgMS de ENL con un rango de 1.03 a 1.53. La Cooperativa de Extensión de la Universidad de Cornell (2000) recomienda valores de ENL mayores a 0.70 Mcal/lb equivalentes a 1.54 Mcal/kgMS. Nuestros valores se encuentran dentro de los rangos reportados por la bibliografía excepto la variedad BT-01 que estuvo ligeramente por debajo. El valor de energía es calculado por un modelo de la NRC (2001) y refleja los contenidos de todos los macronutrientes con sus coeficientes de digestibilidad en especial el aporte de carbohidratos no fibrosos y lípidos.

4.1.4. Establecer el % digestibilidad *in vitro* de la MS y FDN a las 30 y 48 horas de incubación.

4.1.4.1. Digestibilidad *in vitro* de la MS (DIV_{MS}) a las 30 y 48 horas

Se determinó el % de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de las variedades en estudio en incubaciones por triplicado a las 30 y 48 horas, en el equipo Daisy ANKOM II, según el Cuadro N° 4

Cuadro N° 4

Tabla 5. % Digestibilidad *in vitro* de la MS (DIV_{MS}) a las 30 y 48 horas de incubación

	<i>BT-01</i>	<i>BT-02</i>	<i>BT-03</i>	<i>Promedio</i> (<i>p</i> =0.0003)
<i>30 horas</i>	71.0	72.1	66.4	69.8^a
<i>48 horas</i>	75.7	73.0	67.4	72.0^b
<i>Promedio</i> (<i>p</i> =0.000)	73.3^a	72.5^a	66.9^b	

Promedios con letras distintas en filas o columnas son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) tanto entre variedades como entre tiempos de incubación. La variedad BT01 tuvo el mayor % de digestibilidad *in vitro* de la MS con 73.3% seguida de la variedad BT-02 con 72.5% sin diferencias estadísticas entre ellas. La variedad BT-03 tuvo el menor % de digestibilidad *in vitro* con 66.9%. En cuanto a las horas de incubación como era de esperar el mayor % de digestibilidad *in vitro* de la MS se obtuvo a las 48 hrs con 72.0% y el menor a las 30 hrs con 69.8% con diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre ambos tiempos de incubación. De otro lado cabe mencionar que la interacción entre variedad y tiempo de incubación fue significativa estadísticamente ($p < 0.05$).

Caetano et al., (2011) en un estudio de 11 variedades de maíz ensilado en el suroeste de Brasil, tuvieron valores desde 64.2 hasta 71.5% de DIV_{MS}. Lasmar de Oliveira et al., (2017) en un estudio de evaluación de valor nutritivo de ensilajes de maíz de 32 establos lecheros también en el suroeste de Brasil, encontraron un promedio de 66.9% con un rango de 59.5 a 74.9% de DIV_{MS} medida a las 48 hrs de incubación. Los valores encontrados en nuestro estudio fueron superiores (72.0%) en promedio a los reportados por Lasmar de Oliveira et al., (2011) (66.9%) a un tiempo de

48 hrs de incubación. Al tiempo de 30 hrs nuestros valores (69.8%) también se encuentran dentro del rango reportado por Caetano et al., (2011), aunque estos últimos no especificaron las horas de incubación en su estudio.

4.1.4.2. Digestibilidad *in vitro* de la FDN (DIV_{FDN}) a las 30 y 48 horas

Se determinó el % de digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutra (DIV_{FDN}) de las variedades en estudio en incubaciones por triplicado a las 30 y 48 horas, según el método Daisy ANKOM II, cuyos datos se muestran en el Cuadro N° 5

Tabla 6. % Digestibilidad *in vitro* de la FDN (DIV_{FDN}) a las 30 y 48 horas de incubación

	<i>BT-01</i>	<i>BT-02</i>	<i>BT-03</i>	<i>Promedio</i> ($p=0.001$)
<i>30 horas</i>	46.1	51.1	52.5	49.9^a
<i>48 horas</i>	55.0	54.2	55.1	54.7^b
<i>Promedio</i> ($p=0.1260$)	50.6^a	52.6^a	53.8^a	

Promedios con letras distintas en filas o columnas son estadísticamente diferentes ($p<0.05$)

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p<0.01$) solamente entre tiempos de incubación. No hubo diferencias estadísticas entre variedades, ($p>0.05$). La variedad BT-03 tuvo el mayor % de digestibilidad *in vitro* de la FDN con 53.8% seguida de la variedad BT-02 con 52.6%. La variedad BT-01 tuvo el menor % de digestibilidad *in vitro* con 50.6%. En cuanto a las horas de incubación como era de esperar el mayor % de digestibilidad *in vitro* de la FDN se obtuvo a las 48 hrs con 54.7% y el menor a las 30 hrs con 49.9% con diferencias altamente significativas ($p<0.01$) entre ambos tiempos de incubación. De otro lado cabe mencionar que la interacción entre variedad y tiempo de incubación no fue significativa estadísticamente ($p>0.05$).

Según Myers y Amaral-Phillips (2002) el % de DIV_{FDN} a las 30 hrs de un buen ensilaje de maíz debe estar en alrededor 52.3%. La Cooperativa de Extensión de la Universidad de Cornell (2000) recomienda que la evaluación de la DIV_{FDN} se deba hacer a las 30 hrs de incubación. Varios investigadores han reportado valores de DIV_{FDN} a las 30 hrs como Castro et al., (2010) (51.3%) Gehman et al., (49.1%), Oba y Allen (2000) (46.5%) los cuales coinciden con los valores reportados en nuestro estudio con un promedio de 49.9% de DIV_{FDN} .

A un tiempo de incubación de 48 hrs, Lasmar de Oliveira et al., (2011) reportaron un promedio de 40.7% con un rango de 24.9 a 60.6%. De otro lado Weiss y Wyatt (2006) reportaron valores de 58.3% en variedades de doble propósito. Nuestros valores (54.7% en promedio) están por encima de los reportados por Lasmar de Oliveira et al., (2011) pero se acercan mucho más a los reportados por Weiss y Wyatt (2006) reflejando una mayor digestibilidad de la fibra de las variedades evaluadas bajo condiciones locales de zonas de irrigación de la provincia de Arequipa.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

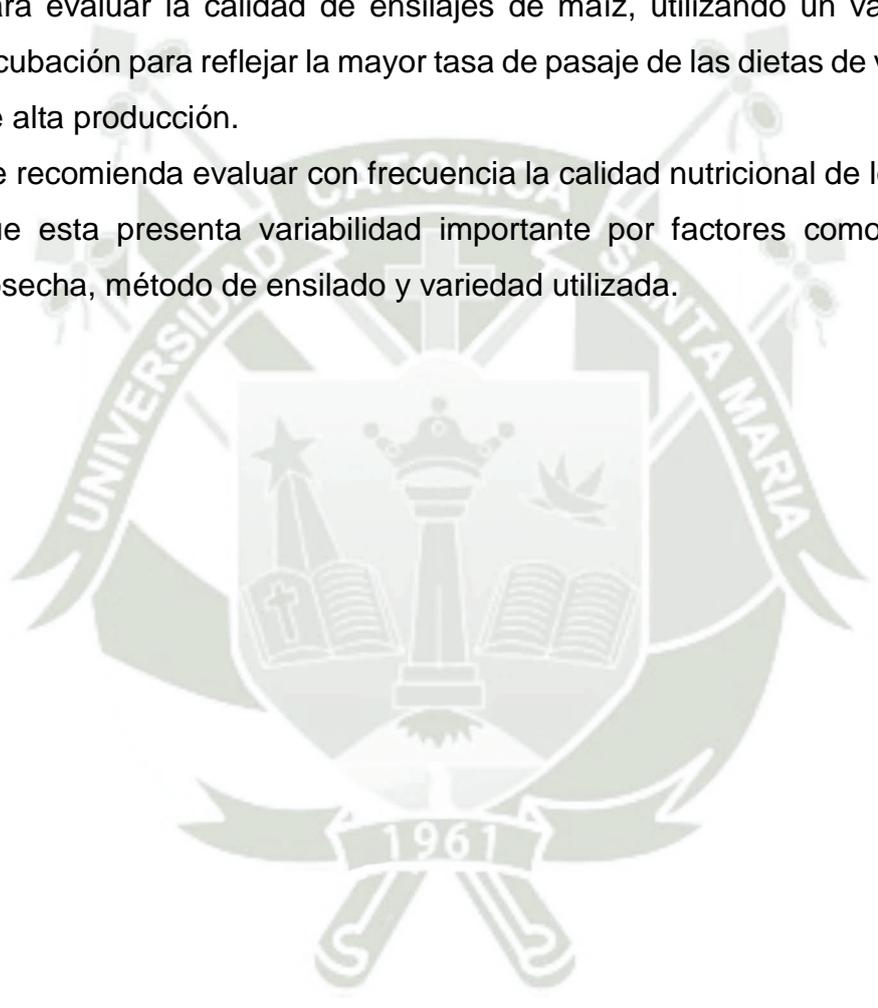
- Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de materia seca de las 03 variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-02 con 34.0% seguida de la BT-03 con 32.5% y finalmente BT-01 con 31.3%, sin diferencias entre estas últimas. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de proteína cruda entre las 03 variedades correspondiendo a BT-01 un valor de 7.6% igual a BT-03 con 7.6% y finalmente BT-01 con 7.5%. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de extracto etéreo de las 03 variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-02 con 2.2% seguida de la BT-03 con 2.0% sin diferencias entre ellas, y finalmente BT-01 con 1.3%. Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los valores de cenizas de las 03 variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-01 con 7.0% seguida de la BT-03 con 6.6% sin diferencias entre ellas, y finalmente BT-02 con 5.6%.
- Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los valores de fibra detergente neutra de todas las variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-01 con 44.0% seguida de la BT-03 con 38.7%, y finalmente BT-02 con 34.8%. Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los valores de fibra detergente acida de todas las variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-01 con 27.2% seguida de la BT-03 con 23.1%, y finalmente BT-02 con 19.6%. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de lignina detergente acido entre las 03 variedades correspondiendo a BT-01 un valor de 3.8% igual a BT02 con 3.8% y finalmente BT-03 con 4.0%.
- No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de proteína insoluble en detergente neutro entre las 03 variedades correspondiendo a BT-01 un valor de 1.3% igual a BT-02 con 1.1% y finalmente BT-03 con 1.2%. Tampoco se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de proteína insoluble en detergente ácido entre las 03 variedades correspondiendo a BT-01 un valor de 0.5% igual a BT-02 con 0.5% y finalmente BT-03 con 0.8%.

- Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los valores de carbohidratos no fibrosos de todas las variedades, correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-02 con 51.0% seguida de la BT-03 con 46.4%, y finalmente BT-01 con 41.3%. Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los valores de energía neta de lactación entre las variedades correspondiendo el mayor valor para la variedad BT-02 con 1.59 Mcal/kgMS seguida de la BT-03 con 1.52 Mcal/kgMS y finalmente BT-01 con 1.46 Mcal/kgMS sin diferencias entre estas últimas.
- Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en la DIV_{MS} tanto entre variedades como entre tiempos de incubación. La variedad BT-01 tuvo el mayor % de DIV_{MS} con 73.3% seguida de la variedad BT02 con 72.5% sin diferencias estadísticas entre ellas. La variedad BT-03 tuvo el menor % de DIV_{MS} con 66.9%. En cuanto a las horas de incubación como era de esperar el mayor % de DIV_{MS} se obtuvo a las 48 hrs con 72.0% y el menor a las 30 hrs con 69.8% con diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre ambos. De otro lado cabe mencionar que la interacción entre variedad y tiempo de incubación fue significativa estadísticamente ($p < 0.05$).
- En la DIV_{FDN} se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) solamente entre tiempos de incubación, sin diferencias estadísticas entre variedades, ($p > 0.05$). La variedad BT-03 tuvo el mayor % de DIV_{FDN} con 53.8% seguida de la variedad BT-02 con 52.6%. La variedad BT-01 tuvo el menor % de DIV_{FDN} con 50.6%. En cuanto a las horas de incubación como era de esperar el mayor % de DIV_{FDN} se obtuvo a las 48 hrs con 54.7% y el menor a las 30 hrs con 49.9% con diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre ambos tiempos de incubación. De otro lado cabe mencionar que la interacción entre variedad y tiempo de incubación no fue significativa estadísticamente ($p > 0.05$).
- Los valores de DIV_{FDN} de 49.9 y 54.7% para 30 y 48 hrs de incubación respectivamente, demostraron en promedio una mayor digestibilidad de la fibra de las variedades evaluadas con respecto a los valores de la literatura, bajo las condiciones de las zonas de irrigación de la provincia de Arequipa.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de variedades o híbridos con características de mayor digestibilidad de la fibra para incrementar la utilización de nutrientes y por lo tanto la producción de leche del ganado alimentado con estos forrajes.
- Se recomienda la utilización de la digestibilidad *in vitro* como un método efectivo para evaluar la calidad de ensilajes de maíz, utilizando un valor de 30h de incubación para reflejar la mayor tasa de pasaje de las dietas de vacas lecheras de alta producción.
- Se recomienda evaluar con frecuencia la calidad nutricional de los ensilajes ya que esta presenta variabilidad importante por factores como momento de cosecha, método de ensilado y variedad utilizada.



CAPITULO VII

BIBLIOGRAFIA

1. **ANKOM Technology. (2005):** Procedures (for NDF and ADF).
<http://www.ankom.com/> (20 de Agosto de 2020).
2. **ANKOM Technology. (2006).** *In vitro True Digestibility using the Daisy II Incubator* ANKOM TECHNOLOGY. <https://www.ankom.com/>
3. **ANKOM (2020)** Method 8 – Determining Acid Detergent Lignin in beakers. ANKOM TECHNOLOGY
https://www.ankom.com/sites/default/files/documentfiles/Method_8_Lignin_in_beakers_0.pdf
4. **AOAC (2000)** Official Methods of Analysis. 17th Edition, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
5. **Araujo Febres O. Vergara López J. (2007).** Propiedades Físicas y Químicas del Rumen, XX Reunión ALPA, XXX Reunión APPA-Cusco-Perú, Arch. Latinoamericano de Producción Animal Vol. 15 (Sulp. 1) 2007
6. **Caetano, H, Mauro Dal Secco de Oliveira, José Esler de Freitas Júnior, Aníbal Coutinho do Rêgo, Marina Vieira de Carvalho, Francisco Palma Rennó (2011)** Nutritional characteristics and *in vitro* digestibility of silages from different corn cultivars harvested at two cutting heights. R. Bras. Zootec., v.40, n.4, p.708-714, 2011
7. **Carrillo L, (2003),** Microbiología Agrícola. Universidad Nacional de Salta <http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri.htm> (05 de febrero del 2021).
8. **Coronel O. J. 2007** Manual para el Manejo del Ganado Ovino, INICTELUNI Lacabamba, Ancash ,2007.
9. **Czerkawski J.; Breckenridge, G. 1977.** Design and development of a long-term rumen simulation technique (Rusitec). British Journal of Nutrition. 38: 371-384. United Kingdom. [Internet] [4 octubre 2018]
Disponible en:
www.journals.cambridge.org/production/action/cjoGetFulltext
10. **Diaz R. y Oviedo F. (2013)** Cadena Productiva de Ovinos DGCA, Perú, 2013
11. **García Galicia I.A. 2002** Nutrición en Rumiantes 2002

12. **García Tobar J. y Gingins M. 1969.** Anatomía y fisiología del aparato digestivo de los rumiantes, Sitio Argentino de Producción Animal Conferencia en Dpto. Zootecnia, Fac. Agr. y Vet. UBA. Argentina 1969.
13. **Goering, H.; Van Soest, P. (1970).** Forage Fiber Analyses. Apparatus, reagents, procedures, and some applications. Agricultural Handbook. N°379. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture. United States of América.
14. **Hoffman, P., R. D. Shaver, D. K. Combs, D. J. Undersander, L. M. Bauman, y T. K. Seeger. (2001).** Understanding NDF Digestibility of Forages. Focus on Forage - Vol 3: No. 10 University of Wisconsin Board of Regents, Wisconsin, EEUU.
15. **Jasauí, J., Zegarra, J y V. Vélez (2010)** Tablas de composición química nutricional de alimentos y forrajes. Grupo Gloria SA
16. **Lasmar de Oliveira, I, Miranda Lima, L, Rume Casagrande, D, Stefanelli Lara, M. A. y T. Fernandes Bernardes (2017)** Nutritive value of corn silage from intensive dairy farms in Brazil. R. Bras. Zootec., 46(6):494-501, 2017
17. **Martínez Turcios D.A. (2017)** Evaluación nutricional del ensilaje de maíz cosechado en cuatro etapas fenológicas elaborado con tres calibres de picado. Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo. Escuela Agrícola Experimental Zamorano, Honduras.
18. **Navarrete A. (2005)** Tasa de degradación y digestibilidad In Vitro de la Fibra en Detergente Neutro de Tres Híbridos de maíz Forrajero (*Zea mays*). Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México
19. **NRC, (2001)** Nutrient requirements of Dairy Cattle. 7th Revisade Edition. Washington DC
20. **Phillipson, A. T. 1981.** Digestión en el rumiante. En: Fisiología de los animales domésticos. H. H. Dukes y M. J. Swenson (Eds.). Aguilar Editor S.A. México.
21. **Rodríguez del Ángel, J.M (2000)** Métodos de investigación pecuaria. 1ra Reimpresión. Editorial Trillas. México, DF
22. **Sainz Ramírez A. (2016)** Comparación de dos métodos *in vitro* para estimar la digestibilidad de ensilados de maíz (*Zea mays*) de sistemas de producción de leche en pequeña escala, Toluca, México 2016.

23. **Saro Higuera C. (2012)** Estructura de las comunidades microbianas ruminales de ovejas alimentadas con diferentes dietas León, 2012.
24. **Sisson S y Grossman J. (1982)**: Anatomía de los animales domésticos. 5° ed., Elsevier Masson, España.
25. **Tilley, J. M. A. y R. A. Terry. (1963)**. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. British Grassland society 18:104-111.
26. **Undersander, D. R. Shaver; J. Linn, P. Hoffman y P. Peterson. (2005)** Sampling hay, silage and total mixed rations for analysis. University of Wisconsin-Extension, Wisconsin, EEUU.
27. **Relling A y Mattioli G. (2003)**. Fisiología Digestiva y Metabólica de los Rumiantes. 2° ed., Universidad Nacional de la Plata y University of Ohio, EDULP, USA.
28. **Van Soest P. J. 1994**. Nutritional ecology of the ruminant. 2a ed. Cornell University Press. London, England.
29. **Wright A, y Klieve A. (2011)**: Does the complexity of the rumen microbial ecology preclude methane mitigation? Animal Feed Science and Technology, 166-167:248-253.

ANEXOS

BT-01 (INSIGNIA 860)						
	R1		R2		R3	
MS	31.10	31.10	33.91	33.91	28.86	28.86
PC	7.01	7.01	7.53	7.53	8.34	8.34
EE	2.03	2.03	0.55	0.55	1.41	1.41
FDN FDA	40.39	40.10	47.62	44.80	46.34	45.46
LDA	24.94	24.42	28.68	27.17	29.51	28.31
PIDN	3.68	3.75	3.51	3.61	4.40	3.62
PIDA	1.01	1.01	1.66	1.66	1.38	1.38
CZS CNF	0.35	0.35	0.60	0.60	0.49	0.49
ENL	7.45	7.45	7.38	7.38	6.11	6.11
	44.13	44.42	38.57	41.39	39.17	40.05
	1.51	1.51	1.42	1.43	1.45	1.49
BT-02 (DK7500)						
	R1		R2		R3	
MS	35.16	35.16	33.00	33.00	33.92	33.92
PC	7.17	7.17	7.73	7.73	7.51	7.51
EE	1.72	1.72	2.48	2.48	2.52	2.52
FDN	32.19	34.61	32.95	34.25	38.28	36.31
FDA	18.24	19.14	19.16	18.53	21.27	21.52
LDA	3.99	4.44	3.24	3.63	3.66	3.80
PIDN	1.17	1.17	1.35	1.35	0.66	0.66
PIDA	0.58	0.58	0.62	0.62	0.43	0.43
CZS	5.24	5.24	5.27	5.27	6.24	6.24
CNF	54.85	52.44	52.92	51.62	46.11	48.08
ENL	1.59	1.56	1.64	1.62	1.56	1.57
BT-03 (DK 399)						
	R1		R2		R3	

MS	32.37	31.87	32.19	32.31	33.28	33.28
PC	7.99	7.76	7.07	7.20	7.82	7.82
EE	1.74	1.74	1.93	1.93	2.38	2.38
FDN	38.30	36.85	40.98	40.98	37.85	37.06
	23.44	22.46	25.30	25.01	21.48	21.00
FDA	4.53	4.84	2.99	3.19	4.43	3.95
LDA	1.08	1.06	1.18	1.18	1.48	1.48
PIDN	1.07	1.07	0.85	0.85	0.39	0.39
PIDA	6.67	6.74	6.53	6.57	6.44	6.44
CZS	46.39	47.97	44.67	44.49	46.99	47.78
CNF ENL	1.48	1.48	1.54	1.53	1.54	1.56

ANEXO A: ANALISIS ESTADISTICOS

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN MS						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
BT-01	6	187.738277	31.2897129	5.12867102		
BT-02	6	204.154971	34.0258284	0.94084716		
BT-03	6	195.297655	32.5496091	0.34887455		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P VALUE</i>	<i>Fc</i>
Entre grupos	22.5057804	2	11.2528902	5.25967669	0.01858497	3.68232034
Dentro de lo	32.0919636	15	2.13946424			
Total	54.5977441	17				

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN PC						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
BT-01	6	45.7683648	7.6280608	0.35814055		
BT-02	6	44.825856	7.470976	0.06227829		
BT-03	6	45.6705535	7.61175892	0.14194421		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
FV	SC	GL	CM	F	P VALUE	Fc
Entre grupos	0.08952243	2	0.04476121	0.23878462	0.79052167	3.68232034
Dentro de lo	2.81181523	15	0.18745435			
Total	2.90133766	17				

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN EE						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
BT-01	6	7.99570093	1.33261682	0.4404632		
BT-02	6	13.4329507	2.23882512	0.16206048		
BT-03	6	12.0849054	2.01415091	0.08614371		

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P VALUE</i>	<i>Fc</i>
Entre grupos	2.67236136	2	1.33618068	5.82072285	0.01345864	3.68232034
Dentro de lo	3.44333697	15	0.2295558			
Total	6.11569833	17				
Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN FDN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
BT-01	6	264.707587	44.1179312	9.90402248		
BT-02	6	208.582501	34.7637502	4.99452712		
BT-03	6	232.028095	38.6713492	3.48001399		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P VALUE</i>	<i>Fc</i>
Entre grupos	264.870578	2	132.435289	21.6178955	3.8173E-05	3.68232034
Dentro de lo	91.8928179	15	6.12618786			
Total	356.763396	17				
Análisis de varianza de un factor						

RESUMEN FDA						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
BT-01	6	163.035934	27.1726556	4.32454129		
BT-02	6	117.864765	19.6441274	1.96935264		
BT-03	6	138.684979	23.1141632	3.20899583		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P VALUE</i>	<i>Fc</i>
Entre grupos	170.38249	2	85.1912452	26.8943177	1.0947E-05	3.68232034
Dentro de los	47.5144488	15	3.16762992			
Total	217.896939	17				
Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN LDA						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
BT-01	6	22.5745877	3.76243128	0.10432265		
BT-02	6	22.7701719	3.79502866	0.16017215		
BT-03	6	23.92378	3.98729667	0.57150236		

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P VALUE</i>	<i>Fc</i>
Entre grupos	0.17718803	2	0.08859401	0.31792219	0.73244396	3.68232034
Dentro de lo	4.1799858	15	0.27866572			
Total	4.35717383	17				

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P VALUE</i>	<i>Fc</i>
Entre grupos	0.25224183	2	0.12612092	1.71197849	0.21395016	3.68232034
Dentro de lo	1.10504528	15	0.07366969			
Total	1.35728711	17				

ANÁLISIS de varianza de un factor

RESUMEN PIDN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
BT-01	6	8.08566383	1.34761064	0.0833624		
BT-02	6	6.36865009	1.06144168	0.10145523		
BT-03	6	7.47020913	1.24503485	0.03619142		

ANÁLISIS de varianza de un factor

RESUMEN PIDN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
BT-01	6	8.08566383	1.34761064	0.0833624		
BT-02	6	6.36865009	1.06144168	0.10145523		
BT-03	6	7.47020913	1.24503485	0.03619142		

RESUMEN PIDA						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
BT-01	6	2.877212	0.47953533	0.01302845		
BT-02	6	3.27821402	0.546369	0.00786155		
BT-03	6	4.62763778	0.77127296	0.0957629		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P VALUE</i>	<i>Fc</i>
Entre grupos	0.28031875	2	0.14015937	3.60452355	0.05268779	3.68232034
Dentro de lo	0.5832645	15	0.0388843			
Total	0.86358325	17				

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN CZS						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
BT-01	6	41.8795087	6.97991812	0.45438117		
BT-02	6	33.5019547	5.58365911	0.26064319		
BT-03	6	39.3852191	6.56420318	0.01486926		

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P VALUE</i>	<i>Fc</i>
Entre grupos	6.16764963	2	3.08382482	12.6750997	0.00059819	3.68232034
Dentro de lo	3.6494681	15	0.24329787			
Total	9.81711773	17				
Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN CNF						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
BT-01	6	247.734502	41.2890837	6.26974482		
BT-02	6	306.025388	51.0042313	10.6891247		
BT-03	6	278.301436	46.3835727	2.27470985		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P VALUE</i>	<i>Fc</i>
Entre grupos	283.376795	2	141.688397	22.1001606	3.3748E-05	3.68232034
Dentro de lo	96.1678966	15	6.41119311			
Total	379.544691	17				
Análisis de varianza de un factor						

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
BT-01	6	8.80099404	1.46683234	0.00151648		
BT-02	6	9.54542768	1.59090461	0.00100565		
BT-03	6	9.1263957	1.52106595	0.00101839		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P VALUE</i>	<i>Fc</i>
Entre grupos	0.0464253	2	0.02321265	19.6688705	6.4183E-05	3.68232034
Dentro de los	0.01770258	15	0.00118017			
Total	0.06412789	17				

ANEXO B: ANALISIS DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA MATERIA SECA

DIVMS

	BT-01	BT-02	BT-03
30H	72.05	72.35	66.78
	68.40	72.46	66.63
	72.46	71.47	65.81
48H	77.11	72.83	67.66
	76.55	73.38	66.82
	73.38	72.71	67.86

**ANEXO C: ANALISIS DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA FIBRA
DETERGENTE NEUTRA**

DIVFDN

	BT-01	BT-02	BT-03
30H	46.10	50.87	53.99
	40.86	51.17	50.66
	51.46	51.24	52.78
48H	53.74	54.98	55.01
	56.19	51.46	54.33
	54.98	56.12	55.93

ANEXO D: ANALISIS ESTADISTICO DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA MS

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

RESUMEN	BT-01	BT-02	BT-03	Total
<i>30H</i>				
Cuenta	3	3	3	9
Suma	212.906374	216.277657	199.211629	628.39566
Promedio	71.0	72.1	66.4	69.8
Varianza	4.97652086	0.29446034	0.27128174	8.19335639
<i>48H</i>				
Cuenta	3	3	3	9
Suma	227.035895	218.914025	202.337863	648.287784
Promedio	75.7	73.0	67.4	72.0
Varianza	4.05885256	0.12639104	0.30221632	14.3264019

Total

Cuenta	6	6	6
Suma	439.942269	435.191683	401.549492
Promedio	73.3	72.5	66.9
Varianza	10.2689283	0.40002176	0.55517736

ANÁLISIS DE VARIANZA		DIVMS					
FV	SC	GL	CM	F	P VALUE	Fc	
Tiempos de incub	21.9831441	1	21.9831441	13.1507985	0.00347355	4.74722535	
Variedades	146.020574	2	73.0102868	43.6763534	3.1046E-06	3.88529383	
Interacción	14.0780472	2	7.03902359	4.21089816	0.04116459	3.88529383	
Dentro del grupo	20.0594457	12	1.67162048				
Total	202.141211	17					

ANEXO E: ANALISIS ESTADISTICO DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA FDN

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

RESUMEN BT-01 BT-02 BT-03 Total

Cuenta	3	3	3	9
Suma	164.904676	162.556358	165.270908	492.731942
Promedio	55.0	54.2	55.1	54.7
Varianza	1.50571765	5.88859831	0.64653204	2.1910107
<i>Total</i>				
Cuenta	6	6	6	
Suma	303.321036	315.8371	322.698458	
Promedio	50.6	52.6	53.8	
Varianza	35.2292537	5.2391299	3.4478779	

ANÁLISIS DE VARIANZA

DIVFDN

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P VALUE</i>	<i>Fc</i>
Tiempos de incub	105.644213	1	105.644213	16.2424876	0.00166861	4.74722535
Variedades	32.1785862	2	16.0892931	2.47368158	0.12603021	3.88529383
Interacción	35.8868237	2	17.9434118	2.75874689	0.10333695	3.88529383
Dentro del grupo	78.050271	12	6.50418925			
Total	251.759894	17				

30H

Cuenta	3	3	3	9
--------	---	---	---	---

Suma	138.41636	153.280742	157.427549	449.124651
Promedio	46.1	51.1	52.5	49.9
Varianza	28.0981761	0.0394719	2.84663948	16.0734494

48H



FOTOS

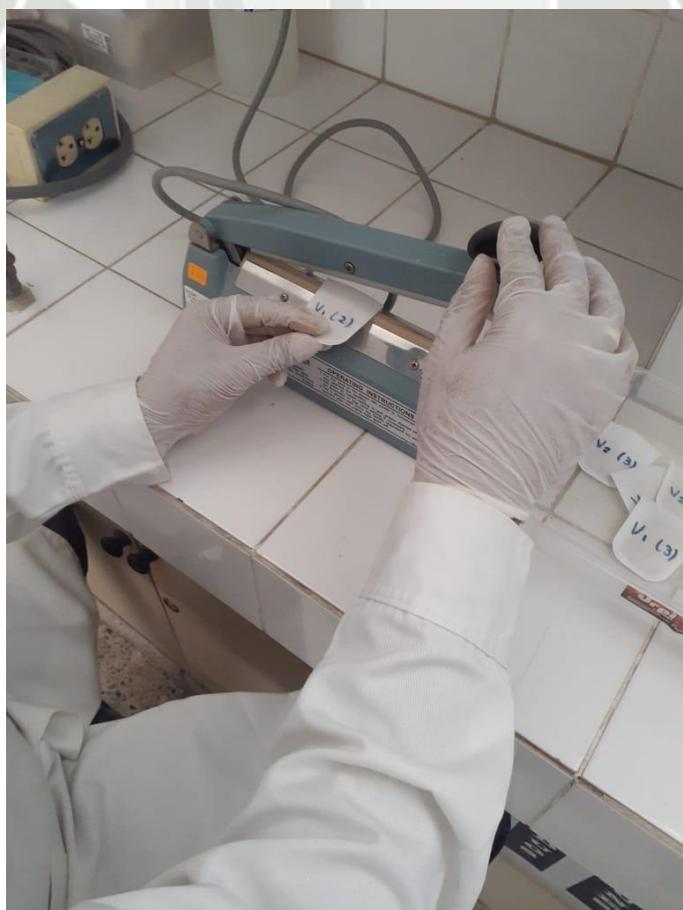






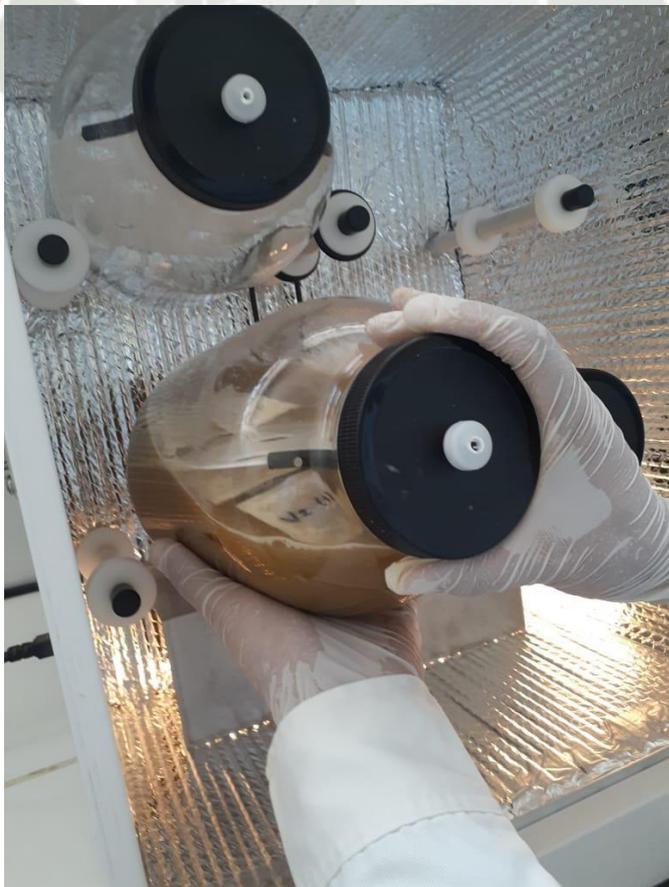


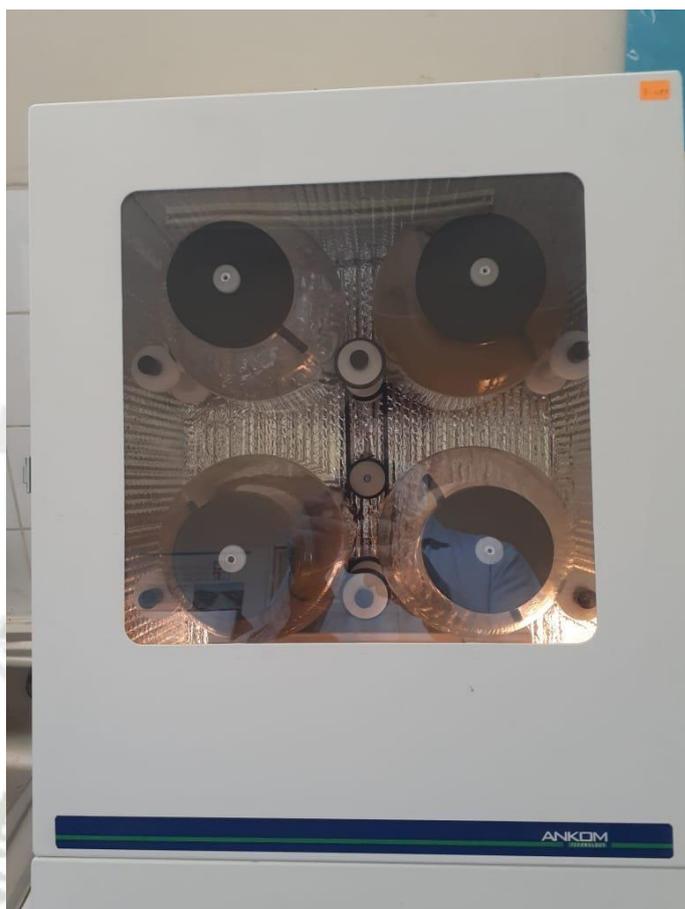












ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA FIBRA DETERGENTE NEUTRO EN ENSILAJES DE MAÍZ AREQUIPA - 2020". "COMPARATIVE STUDY OF IN VITRO DIGESTIBILITY OF NEUTRAL DETERGENT FIBER IN CORN S

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	www.angelfire.com Fuente de Internet	1%
3	ensfep.edu.mx Fuente de Internet	1%
4	www.inifap.gob.mx Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uigv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	ri.ufs.br Fuente de Internet	1%
7	biblioteca.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	1%

9

www.engormix.com

Fuente de Internet

1 %

10

repositorio.unesp.br

Fuente de Internet

1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado