

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**VALOR NUTRICIONAL DE AVENA FORRAJERA ENSILADA CON O SIN
CÁSCARA DE NARANJA Y UREA**

TESIS

QUE PRESENTA

RODRIGO SEBASTIÁN PEÑA GARCÍA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN AGRONOMÍA**

GRAL. ESCOBEDO, N. L., MÉXICO

Febrero 2025

**VALOR NUTRICIONAL DE AVENA FORRAJERA ENSILADA CON O SIN
CÁSCARA DE NARANJA Y UREA**

TESIS

Como requisito parcial para obtener el Título de:

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN AGRONOMÍA

PRESENTA

RODRIGO SEBASTIÁN PEÑA GARCÍA

Dra. Nydia Corina Vásquez Aguilar

Directora de Tesis

Dr. sc. agr. Hugo Bernal Barragán

Co-Director de Tesis

Dr. Juan Emmanuel Segura Carmona

Co-Director de Tesis

DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente trabajo a mi abuelo Jesús Ochoa García quien fue una persona admirable en mi vida y que donde quiera que este me cuida desde el cielo un gran hombre quien cuido de toda su familia hasta su último aliento. Mi Tío Rigoberto Peña Martínez QEPD quien desde que yo era niño me demostró todo su amor, por esos divertidos momentos que nunca olvidaré y siempre lo llevaré en mi corazón.

A mi madre Fátima Belém García Huerta y a mi padre Maximiliano Peña Martínez quienes son personas que con todo su amor y cariño llevan el pan a la mesa de la manera más honesta, correcta y admirable, Gracias por guiar mi vida los amo eternamente.

A mis tíos Jesús Gamaliel García Huerta y Diana Castañeda Sepúlveda por darme su amor y apoyo para seguir adelante que junto a mis padres inculcarme todos sus valores para ser la persona que soy. Eternamente agradecido con ustedes.

Por último quiero dedicar esta investigación a todas las generaciones futuras quienes forjaran el camino de la ciencia y sobre todo de la agronomía en México.

Que nadie robe tu imaginación, tu creatividad y curiosidad, es tu lugar en el mundo, es tu vida y haz de ella lo que quieras ser.

AGRADECIMIENTOS

Todo mi cariño y mi más sincero agradecimiento a:

Mi directora de tesis la Dra. Nydia Corina Vásquez Aguilar por ser mi maestra, pero sobre todo brindarme todo su apoyo y darme la oportunidad de formar parte de este proyecto.

A mis asesores Dr. Hugo Bernal Barragán y MC. Juan Emmanuel Segura Carmona, por su tiempo y su gran ayuda a lo largo de la fase experimental y revisión de literatura pero sobre todo por sus habilidades, experiencia y conocimientos.

También quiero agradecer a mis compañeros de servicio social por auxiliarme cuando más lo necesitaba, al Ing. Felipe Rodríguez por contribuir en la producción de gas in vitro, al Dr. Carlos Alfredo Gaona Rodriguez quien dedico su tiempo en las labores de campo, al Ing. Esteban De Hoyos por colaborar en los análisis de laboratorio. Pero sobre todo a mi compañera de clases Azalia Cortes Luna quien juntos logramos terminar nuestras investigaciones.

Pero sobre todo quiero agradecer a todas esas personas quienes en todo esta etapa de mi vida me brindaron toda su amistad.

INDICE

	Página
Índice	
Índice de cuadros	VII
Índice de figuras	VIII
Abreviaturas	
1. Introducción	1
2. Revisión de literatura	3
2.1.1 Taxonomía	3
2.1.2 Características generales de la avena	3
2.1.3 Descripción botánica	3
2.1.4 Condiciones edafoclimáticas	4
2.1.5 Fotoperiodo y altitud	4
2.2 Los forrajes	5
2.3 El ensilaje	6
2.4 Composición química y valor nutricional	8
2.5 Producción de gas <i>in vitro</i> y contenido de energía metabolizable	10
2.6 Planteamiento del problema	11
2.6.1 Hipótesis	12
2.6.2 Objetivo General	12
2.6.3 Objetivos Específicos	12
3. Materiales y métodos	13
3.1 Elaboración de silos experimentales	13
3.2 Análisis de laboratorio para determinar la composición química de las muestras de forraje y ensilado	14
3.2.1 Humedad	14
3.2.2 Cenizas	15
3.2.3 Grasa	15

3.2.4	Proteína	17
3.2.5	Fracciones de fibra	17
3.2.6	Producción de gas <i>in vitro</i>	19
3.2.7	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica	19
3.2.8	Contenido de energía metabolizable	20
3.2.9	Análisis Estadístico	21
4.	Resultados	22
5.	Conclusiones	44
6.	Literatura citada	45

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Diseño experimental utilizado para evaluar el efecto de tres combinaciones de alimento utilizados como forrajes y en dos modalidades de preparación.	13
Cuadro 2 Resultados composición química, producción de gas <i>in vitro</i> y contenido de energía metabolizable de tratamientos control	22
Cuadro 3 Resultados composición química, producción de gas <i>in vitro</i> y contenido de energía metabolizable de silos experimentales	25
Cuadro 4 Resultados composición química (%), Base MS), de silos experimentales	27
Cuadro 5 Resultados producción de gas <i>in vitro</i> , digestibilidad <i>in vitro</i> de la Materia Orgánica (DIVMO) y contenido de energía metabolizable de silos experimentales	30

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Representación gráfica de las fases del proceso de en proceso de ensilaje (Callejo Ramos, 2018)	7
Figura 2 Representación gráfica del proceso de extracción grasa con extractor ANKOM ^{XT10}	16
Figura 3 Diagrama método Kjeldahl (Sánchez-Mora 2018)	17
Figura 4 Representación gráfica del análisis de fracciones de fibra ANKOM ²⁰⁰⁰	18
Figura 5 Representación gráfica de técnica producción de gas <i>in vitro</i>	19

ABREVIATURAS

AGV'S	Acidos grasos volátiles
CNE	Carbohidratos no estructurales
DIVMS	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca
DIVMO	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica
EE	Extracto etéreo
EM	Energía metabolizable
FDN	Fibra detergente neutro
FDA	Fibra detergente ácido
FC	Fibra cruda
Hemicel.	Hemicelulosa
Kcal	Kilocalorías
LAD	Lignina ácido detergente
MS	Materia seca
MO	Materia orgánica
PG24h	Producción de gas a las 24 horas de incubación
PC	Proteína cruda

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de los costos de los alimentos para la nutrición animal, sumado a la alta demanda de proteínas de calidad provenientes de productos de origen animal, ha hecho necesario explorar fuentes alternativas de nutrientes. Estas alternativas se basan en el aprovechamiento y manejo de residuos agroindustriales, otorgándoles valor agregado para su uso como forrajes y alimentos para rumiantes (Li *et al.*, 2023).

Los forrajes, compuestos principalmente por gramíneas y algunas leguminosas, constituyen la fuente primaria de alimentación y la principal aportación de fibra en la nutrición de los rumiantes (Nelson *et al.*, 2017). Su valor económico depende en gran medida de su contenido de nutrientes. La calidad y producción de los forrajes se ve afectada por factores físicos, climáticos y geográficos, como la fertilidad del suelo, la luminosidad, la precipitación, la altitud, entre otros.

En ganado bovino, la obtención del alimento por medio del pastoreo directo constituye, debido a sus bajos costos, la principal estrategia de alimentación en todos los sistemas de producción ganadera. No obstante, la conservación de los forrajes representa una forma efectiva de preservar la biomasa vegetal forrajera, para su uso durante temporadas de sequía, eventos climáticos adversos u otras situaciones desfavorables. Esto puede lograrse a través de la henificación o el ensilado, técnicas que permiten su utilización como alimento en sistemas ganaderos extensivos (Burbano-Muñoz *et al.*, 2018).

La henificación consiste en deshidratar el material vegetal hasta alcanzar un contenido de humedad del 15 % o menos (FAO, 2011). Este proceso permite

conservar los nutrientes del forraje verde y almacenarlo con mínimas variaciones en su composición química (Viljoen *et al.*, 2013).

Según datos recientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), en el año 2019 México produjo 8414 toneladas de cítricos. Uno de los principales problemas actuales en el procesamiento de los cítricos utilizados en la industria alimentaria, especialmente en la producción de jugos, es el manejo de los desechos derivados, los cuales rara vez se aprovechan, aún cuando en estudios previos (Montiel Uresti *et al.*, 2019, Bernal Barragán *et al.*, 2022) se ha determinado que la cáscara de naranja tiene alto valor nutricional para el ganado.

La urea que se ha utilizado a partir del siglo XX como fuente concentrada (46%) de nitrógeno rápidamente disponible, que cuando se incorpora en pequeñas cantidades limitadas a la dieta de rumiantes, puede ser utilizada como fuente de nitrógeno por las bacterias del rumen para sintetizar proteína microbiana, con potencial valor nutritivo para el animal (Kertz, 2010).

En el presente trabajo, se evaluó el valor nutricional del forraje de avena tanto en su estado fresco como ensilado. En ambos casos, se analizó la calidad nutricional al incorporar cáscara de naranja y urea.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Características generales de la avena

La avena forrajera es un alimento importante entre los utilizados en México para la alimentación del ganado. Se consume principalmente en forma de forraje verde o henificado, así como su grano ya sea solo o integrado en alimento balanceado. Según datos del INEGI (2022), la superficie sembrada de avena forrajera en México alcanzó las 529,660 hectáreas, siendo Chihuahua el principal Estado productor.

2.1.1 Taxonomía

De acuerdo con López (1991), la clasificación taxonómica de la avena es:

- **Familia:** *Gramineae (Poaceae)*
- **Subfamilia:** *Festucoideae*
- **Tribu:** *Aveneae*

2.1.2 Descripción botánica

Diversos autores describen la avena como una planta anual monocotiledónea que realiza la fotosíntesis mediante la vía C3. Su raíz es más larga y fibrosa en comparación con otros cereales, alcanzando una profundidad de 25 cm. La inflorescencia es de tipo panícula, compuesta por espiguillas que contienen de dos a cuatro flores, de las cuales dos son fértiles. La floración comienza con las espiguillas superiores y ocurre en un periodo de 5 a 6 días, generalmente entre las

2 y 5 de la tarde. Cada flor está protegida por dos brácteas denominadas botánicamente como lema y pálea (Vigosa-Mercado, 2024).

2.1.3 Condiciones edafoclimáticas

La avena se caracteriza por desarrollarse mejor en estaciones frías, siendo más productiva en zonas templadas, por lo que su cultivo es recomendable durante el invierno. La planta reduce su metabolismo a temperaturas cercanas a los 0 °C y puede sufrir mortalidad a temperaturas inferiores a -10 °C (López, 1991).

En cuanto a las condiciones del suelo, el cultivo de avena puede adaptarse a diferentes texturas de suelo, y muestra un mejor desempeño en suelos ácidos, ya sean compactados o sueltos, con un pH entre 5 y 7, ya que no es resistente a suelos salinos y presenta una mayor producción en suelos limosos (Merlo y Robles, 1990; López, 1991).

2.1.4 Fotoperiodo y altitud

Durante la etapa vegetativa de emergencia, en la que las primeras hojas cotiledóneas emergen sobre la superficie del suelo, y hasta la etapa de espigado, se requieren pocas horas de luz. En contraste, durante la fase reproductiva, la planta necesita un fotoperíodo de 15 horas o más de luz (López, 1991).

En cuanto a la altitud, la avena se cultiva entre los 0 y los 3,000 msnm. Puede crecer entre los 65° de latitud norte y los 45° de latitud sur, exceptuando las regiones ecuatoriales cálidas y húmedas (SAGARPA, 2015).

2.2 Los forrajes

En México se tienen dos tipos climáticos que principalmente favorecen el desarrollo de forrajes y pasturas, y que determinan de manera importante la distribución de las zonas ganaderas de nuestro país. En primer lugar, se tiene el clima semiárido y ligeramente frío ubicado en el Altiplano Mexicano, y en segundo lugar se tienen lugares de clima semiárido que ocupa una mayor extensión (Rzedowski, 1990).

Según la FAO (2009), las especies forrajeras más utilizadas en México son variedades de gramíneas perennes, también denominadas poáceas, como las de clima templado Ryegrass perenne (*Lolium perenne* L.), zacate ovillo (*Dactylis glomerata* L.), y pasto festuca (*Festuca arundinacea* S.). También se mencionan gramíneas anuales como Ryegrass anual (*Lolium multiflorum* L.), avena (*Avena sativa* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), maíz (*Zea mays* L.), sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* x *S. sudanense*).

Entre las leguminosas se mencionan perennes como la alfalfa (*Medicago sativa* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.), trébol rojo (*Trifolium pratense* L.), leguminosas anuales como bersín (*Trifolium alexandrinum* L.), y leguminosas tropicales como guaje (*Leucaena leucocephala* L.). Entre las gramíneas tropicales perennes se tienen los pastos Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), Llanero (*Andropogon gayanus* K.), Estrella Africana (*Cynodon plectostachyus* K.) y Bermuda (*Cynodon dactylon* L.).

Los forrajes en la nutrición animal cumplen con la función de aportar moléculas orgánicas e inorgánicas para cubrir los requerimientos de mantenimiento y atender en mayor o menor medida los requerimientos para crecimiento, desarrollo y demás estados fisiológicos de las diferentes especies ganaderas de interés zootécnico (Kellems y Church, 2010). La digestión y asimilación de sus nutrientes depende en gran medida de su calidad y composición química.

Los carbohidratos presentes en la pared celular de las plantas, determinados mediante las técnicas de fraccionamiento de fibra descritas por Van Soest *et al.* (1991), son fermentados por los microorganismos de la microbiota ruminal. Este proceso genera ácidos grasos volátiles (AGVs), que constituyen una fuente de energía tanto para los microorganismos como para el animal rumiante.

2.3 El ensilaje

El ensilaje es un método de conservación de forrajes que consiste en la fermentación de diferentes cultivos, como gramíneas y leguminosas (Wilkinson *et al.*, 1996). Según la FAO (2016), más de mil millones de personas en el mundo dependen de la ganadería para su subsistencia. Una forma de almacenar los nutrientes necesarios para la alimentación animal es fermentando la biomasa vegetal, proceso que se lleva a cabo con la ayuda de bacterias que generan metabolitos y reducen el pH, lo que favorece la conservación del material.

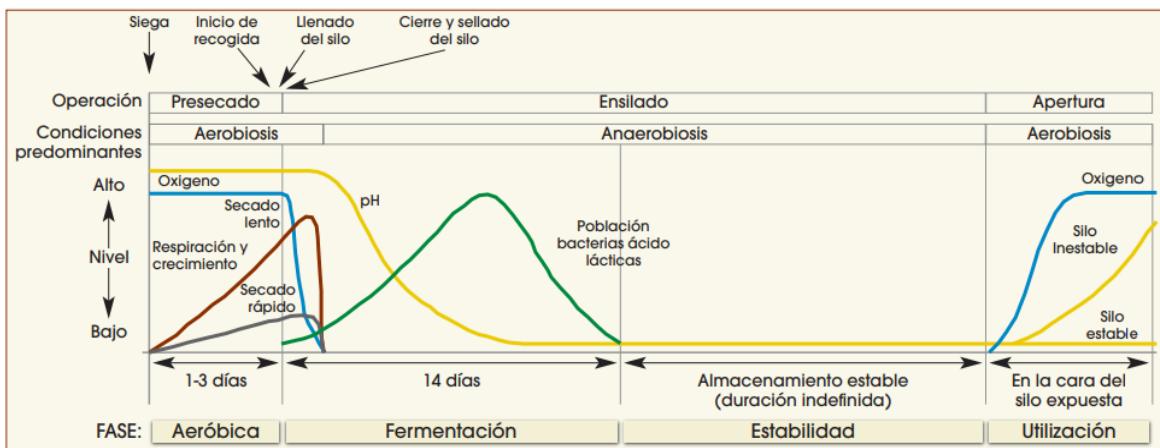


Figura 1. Representación gráfica de las fases del proceso de ensilaje (Callejo Ramos, 2018)

La fermentación láctica del forraje, que se lleva a cabo en un período de 30 a 45 días en condiciones anaeróbicas, permite su conservación durante largos períodos, que pueden variar desde varios meses hasta más de un año.

Entre las bacterias responsables de este proceso de ensilado se encuentran las bacterias homofermentativas del filo Firmicutes, que incluyen más de 20 géneros, como *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* y *Pediococcus*. Estas bacterias producen ácido láctico a partir de la glucosa de las plantas, lo que reduce el pH a un rango de aproximadamente 4.5 a 3.0, favoreciendo la conservación óptima del forraje y evitando la proliferación de microorganismos indeseables (McDonald *et al.*, 1981).

Cuando se produce una mala fermentación anaeróbica del material vegetal, algunas levaduras degradan el ácido láctico a CO₂ y H₂O, lo que eleva el pH del silo y favorece la formación de ácido butírico. Este ácido se caracteriza por un mal olor y una coloración anómala en el ensilaje (McDonald *et al.*, 1991). La fermentación butírica interfiere con la fermentación láctica del ensilaje, así como con otros procesos de conservación de alimentos, lo que representa un problema grave que puede ocasionar importantes pérdidas económicas en la agroindustria.

La fermentación butírica es el proceso mediante el cual los glúcidos, especialmente la lactosa, se transforman en ácido butírico por acción de bacterias, generalmente de la especie *Clostridium butyricum* P. Durante este proceso, se genera ácido butírico, además de gases como dióxido de carbono, metano, ácidos grasos volátiles e hidrógeno. Este tipo de fermentación se caracteriza por la producción de olores pútridos y muy desagradables (Sánchez- Santillán *et al.*,2022).

2.4 Composición química y valor nutricional

La evaluación del valor nutricional de forrajes es fundamental en la nutrición animal, ya que permite determinar su valor nutritivo y asegurar una alimentación balanceada y eficiente para los animales. A través de análisis como la determinación de proteína, fibra, minerales y energía, se pueden identificar las deficiencias o excesos en los componentes nutricionales, optimizando las raciones alimenticias según las necesidades específicas de cada especie animal y su correspondiente etapa

productiva. Esto no solo mejora la salud y productividad de los animales, sino que también contribuye a una gestión más sostenible de los recursos forrajeros, reduciendo costos y minimizando el impacto ambiental de la actividad ganadera (Sánchez- Santilla *et al.*,2022).

Los análisis químicos empleados en la actualidad han experimentado mejoras a lo largo de la historia; sin embargo, los parámetros fundamentales se han mantenido intactos. Los componentes del análisis proximal incluyen humedad, proteína cruda, extracto etéreo (grasa cruda), fibra cruda, cenizas (materia inorgánica) y extracto libre de nitrógeno (AOAC, 2005).

El perfeccionamiento de técnicas analíticas más avanzadas, como el fraccionamiento de fibra y la producción de gas *in vitro*, garantizará la generación de información más precisa sobre el valor nutricional de los alimentos destinados al consumo pecuario.

Las fracciones de fibra juegan un papel crucial en la nutrición animal, especialmente en rumiantes, ya que influyen directamente en la digestión, el metabolismo energético y la salud general del animal. Componentes como la fibra detergente neutro (FDN), la fibra ácido detergente (FAD) y la lignina son esenciales para evaluar la calidad de los forrajes y su capacidad para ser degradados en el rumen. La FDN está asociada con la ingestión de materia seca, mientras que la FAD refleja

la porción menos digestible de los forrajes. Una adecuada proporción de estas fracciones es vital para optimizar el rendimiento productivo, mantener la salud del sistema digestivo y prevenir trastornos metabólicos, como la acidosis. Comprender y gestionar las fracciones de fibra permite formular dietas más equilibradas, mejorando tanto la eficiencia alimenticia como la sostenibilidad de la producción ganadera (Madsen *et al.*, 2010).

2.5 Producción de gas *in vitro* y contenido de energía metabolizable

El método de producción de gas *in vitro* se basa en la simulación de la fermentación ruminal en condiciones controladas de laboratorio, utilizando líquido ruminal como fuente de microorganismos (Menke *et al.* 1979). Durante el proceso, los microorganismos degradan los carbohidratos presentes en los alimentos, produciendo gases como dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), cuya cantidad y velocidad de producción son indicadores de la calidad y digestibilidad del alimento.

Este método permite evaluar la fermentabilidad de diferentes ingredientes y forrajes, identificando su potencial energético y su impacto en el metabolismo del animal. Además, es una herramienta valiosa para optimizar las dietas, predecir el comportamiento de los alimentos en el rumen y desarrollar estrategias que mejoren la eficiencia alimenticia y reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera (Van Gastelen *et al.*, 2019).

En diversos artículos publicados previamente, se ha determinado la producción de gas y/o el contenido de Energía metabolizable de pasto Ryegrass (Winichayakul *et*

al., 2020), de pastos nativos del noreste de México (Vásquez Aguilar *et al.*, 2024), de henos de leguminosas (Karabulut *et al.*, 2007), de granos y semillas de plantas tropicales (Babayemi *et al.*, 2009), así como en forrajes y suplementos para rumiantes (Bernal Barragán *et al.*, 2022), a partir de la producción de gas registrada *in vitro* con el método de Hohenheim, Alemania (Steingass y Menke, 1988) utilizando jeringas de vidrio de 100 ml. para la incubación de alimentos en una mezcla de medio (“saliva artificial”) y líquido ruminal.

La energía metabolizable (EM) es la porción de la energía bruta consumida, que no es excretada en heces, orina, gases ni descamaciones por el animal (NRC, 2016). Su contenido en alimentos para rumiantes se expresa en kcal EM/kg de MS, o Mcal EM/kg de MS. Alternativamente su contenido puede expresarse como kJ EM/kg de MS. O en MJ EM/kg MS. La Energía Metabolizable es considerada como una alternativa muy recomendable para evaluar y clasificar a los alimentos para rumiantes de acuerdo con su contenido energético (NRC, 2016).

2.6 Planteamiento del problema

El contenido nutricional de los forrajes es variable a lo largo del año, lo que compromete que se puedan establecer estrategias de alimentación equilibradas y eficientes en la producción animal. La evaluación de componentes clave como proteína, energía, fibra y minerales permite identificar las fortalezas y deficiencias del forraje, optimizando su uso en las dietas.

En épocas críticas la incorporación de suplementos, como fuentes adicionales de carbohidratos o nitrógeno no proteico, podrían mejorar significativamente la calidad

del forraje disponible ya sea fresco o conservado como heno o ensilado. Estos suplementos podrían potenciar la fermentación, incrementar la digestibilidad y el contenido energético. Al combinar forrajes de calidad con suplementos estratégicos, se podrían maximizar los beneficios del ensilaje, promoviendo un mejor rendimiento productivo, mayor rentabilidad y sostenibilidad en los sistemas ganaderos.

2.6.1 Hipótesis

La incorporación de suplementos cáscara de naranja y urea, como fuentes adicionales de carbohidratos y nitrógeno no proteico, respectivamente, mejoran significativamente la calidad del forraje.

2.6.2 Objetivo General

Determinar el valor nutricional del forraje y de los ensilados de avena con y sin adición de cáscara de naranja y urea.

2.6.3 Objetivos específicos

En el forraje de avena fresco y ensilado evaluar:

- Composición química
- Producción de gas *in vitro* utilizando líquido ruminal como inóculo.
- Evaluar la digestibilidad de la materia orgánica y el contenido de energía metabolizable.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Elaboración de silos experimentales

El forraje de avena fue colectado en las parcelas experimentales de la Unidad Académica Marín, de la Facultad de Agronomía UANL, ubicada a 25° 53' latitud norte y 100° 03' latitud oeste, con una altitud de 375 msnm.

Para la preparación de los silos experimentales se establecieron tres tratamientos, cada uno con seis repeticiones ($n=6$, Cuadro 1). De estas, una bolsa de cada tratamiento se reservó para análisis previo al proceso de ensilaje, dejando un total de cinco repeticiones por tratamiento para someterlas al proceso de fermentación durante 30 días. El proceso comenzó el 14 de marzo de 2023 y la apertura de los silos se realizó el 13 de abril de 2023.

Cuadro 1. Diseño experimental utilizado para evaluar el efecto de tres combinaciones de alimento utilizados como forrajes y en dos modalidades de preparación.

Tratamiento	Modalidad de preparación	n	Forraje (<i>Avena sativa</i>) (g)	Cáscara de Naranja (g)	Urea (g)
T1	fresco	1	800	0	0
	ensilado	5	800	0	0
T2	fresco	1	800	280	0
	ensilado	5	800	280	0
T3	fresco	1	800	200	7
	ensilado	5	800	200	7

3.2 Análisis de laboratorio para determinar la composición química de las muestras de forraje y ensilado

Los análisis de caracterización química y producción de gas *in vitro* se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de Alimentos, de la Facultad de Agronomía de la UANL (FAUANL), en el Campus de General Escobedo, Nuevo León

Con el objetivo de garantizar la homogeneidad de las muestras, éstas se hicieron pasar por un molino Willey de cuchillas, donde fueron cribadas en malla de 1 mm, para ser empleadas en análisis posteriores. Los contenidos de materia seca, cenizas, grasa y proteína cruda de las muestras de los ensilajes fueron determinados de acuerdo con los procedimientos de la AOAC (2005).

3.2.1 Humedad (*método 930.15; AOAC, 2005*)

La técnica consiste en determinar la pérdida gravimétrica de agua en estufa de secado con aire forzado a temperatura constante (55 ± 5 °C).

Materia seca 105 °C

La muestra se colocó en una estufa a (105 ± 0.5 °C) durante 24 horas, para posteriormente registrar el peso seco, y calcular el contenido de materia seca a 105 °C. Los resultados de materia seca (MS), se obtuvieron con la siguiente fórmula para la determinación gravimétrica.

$$MS (\%) = \frac{(Z3 - Z1)}{Z2} \times 100$$

Donde:

MS = Materia seca de la muestra

Z1 (g): peso crisol

Z2 (g): peso de la muestra

Z3 (g): peso del crisol + muestra seca

Humedad (%) = 100 – MS

3.2.2 Ceniza (*método 942.05; AOAC, 2005*)

Con la finalidad de cuantificar la materia inorgánica de las muestras, se empleó una mufla (Lindberg) para procesar las muestras a temperatura de 500 ± 5 °C durante un tiempo de 4 horas.

El contenido se determinó con la siguiente fórmula:

$$Cenizas (\%) = \frac{(Z3 - Z1)}{Z2} \times 100$$

Donde:

Ceniza (%): cantidad de ceniza en la muestra.

Z1(g): Peso crisol.

Z2(g): peso de la muestra.

Z3(g): peso del crisol + muestra con cenizas.

3.2.3 Grasa (*método 920.39; AOAC, 2005*)

En la determinación analítica para grasa se utilizó la metodología descrita por ANKOM (2017) empleando bolsas filtrantes XT4 (ANKOM Technology, Macedon,

NY), que tienen un tamaño estándar de 2-3 micras las cual permite liberar la grasa, pero no la muestra.

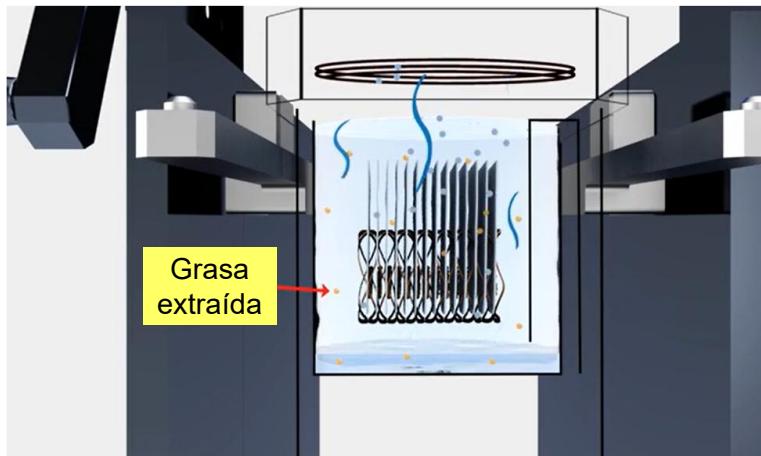


Fig 2. Representación gráfica del proceso de extracción grasa con extractor ANKOM XT10

El tamaño de la muestra fue entre 1 y 2 g, empleando como solvente éter de petróleo (350 ml), en donde el tiempo de extracción fue de 40 minutos y posteriormente las muestras fueron secadas en un horno a una temperatura de 100°C, con la finalidad eliminar el exceso humedad.

$$\% \text{ Grasa} = \frac{z1 - z2}{z3} \times 100$$

Donde:

Grasa (%): cantidad de grasa en la muestra.

Z1(g): Peso original de la muestra

Z2(g): Peso de la muestra presecada con bolsa de filtro.

Z3 (g): Peso de la muestra seca con bolsa de filtro después de la extracción

3.2.4 Proteína Cruda

Las muestras de frescas y ensiladas previamente secadas y molidas se pesaron con precisión y se colocaron en tubos de digestión, junto con ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4 , 98%) y un catalizador ($CuSO_4:K_2SO_4$) que acelera la digestión. Las muestras se sometieron a calentamiento hasta la completa digestión, transformando el nitrógeno orgánico en ion amonio. Posteriormente, la muestra digerida se destiló para liberar amoníaco, que fue capturado en una solución de ácido bórico (H_3BO_3) al 4%. Finalmente, se tituló el amoníaco capturado con una solución estándar 0.1N de ácido clorhídrico (HCl), permitiendo calcular la concentración de nitrógeno en la muestra.

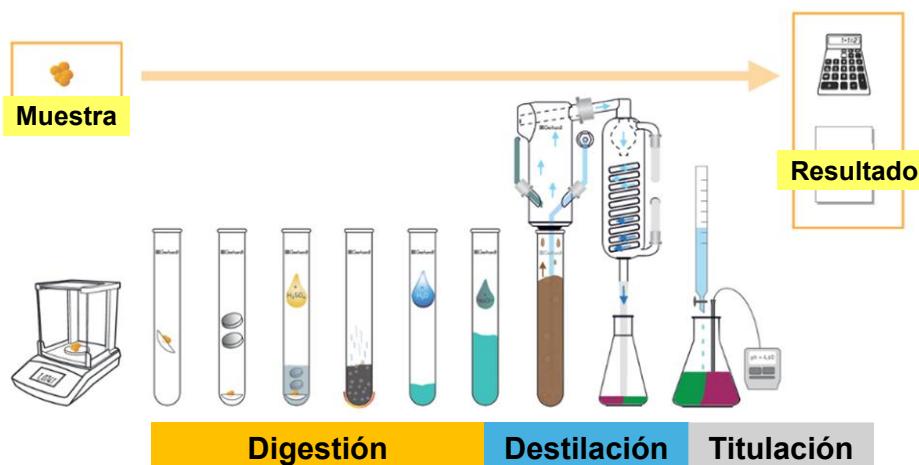


Fig 3. Diagrama método Kjeldahl (Sánchez-Mora 2018)

3.2.5 Fracciones de fibra

El contenido de fracciones de fibra fue determinado de acuerdo con los procedimientos de Van Soest *et al.*, (1991). Las muestras de forraje fresco y

ensilado, previamente secadas y molidas, se colocaron en bolsas filtrantes específicas para el equipo (Figura 4), las cuales fueron selladas y etiquetadas. Posteriormente, las bolsas se introdujeron en el digestor del ANKOM²⁰⁰⁰, donde se sometieron a soluciones detergentes neutras y ácidas según el protocolo estandarizado. El equipo controló automáticamente la temperatura, la agitación y los tiempos de digestión para garantizar la consistencia en los resultados. Finalmente, las bolsas se enjuagaron, secaron y pesaron para calcular los valores de FDN, FAD.



Fig 4. Representación gráfica del análisis de fracciones de fibra ANKOM²⁰⁰⁰

El contenido de lignina se determinó con el método de Lignina Ácido Detergente (LAD), descrito por Ramírez (2007), utilizando H₂SO₄ al 72% (v/v). Los contenidos de Hemicelulosa (FDN-FDA) y celulosa (FDA-Lignina) se calcularon por diferencia como fue descrito por Dryden (2008).

3.2.6 Producción de gas *in vitro* (PGIV)

La técnica de medición de producción de gas de muestras de alimento incubadas *in vitro* se llevó a cabo empleando la metodología propuesta por Menke y Steingass (1988), empleando una mezcla 3:1 de saliva artificial y líquido ruminal como inóculo incubado en jeringas de vidrio de 100 ml., calibradas a 1 ml., incubadas a 39 °C durante 24 horas.

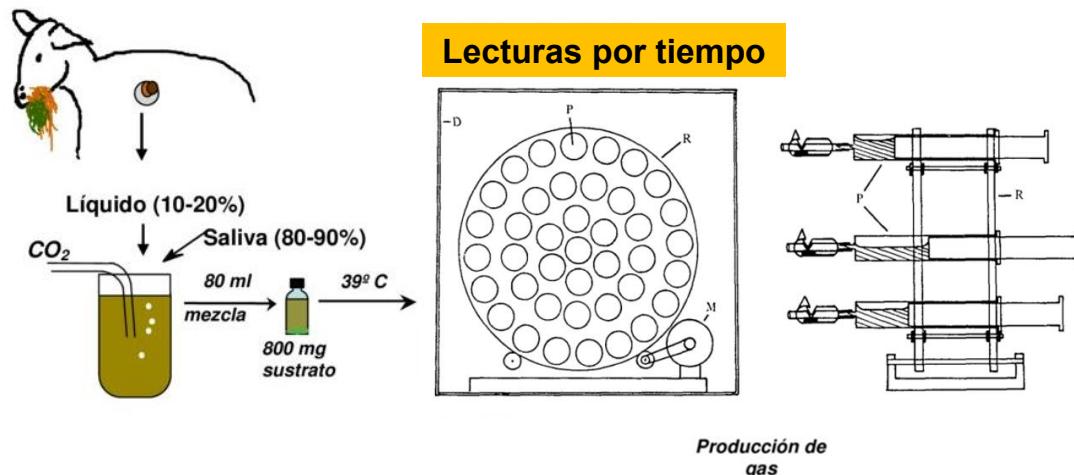


Fig 5. Representación gráfica de técnica producción de gas *in vitro*

3.2.7 Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO)

Para determinar la digestibilidad *in vitro* de las muestras de forraje, se utilizó la fórmula propuesta por Menke y Steingass (1988), en donde se considera el contenido de proteína cruda y de cenizas de la avena forrajera como también la producción de gas *in vitro* a las 24 horas.

$$DIVMO(\%) = [0.889(PG24h) + 0.448(PC) + 0.651(cen) + 14.88]$$

Donde:

DIVMO (%): digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica.

PG24h (ml/200mg MS): producción de gas a las 24 horas de incubación.

PC (% MS): contenido de proteína cruda.

Cen (%MS): contenido de cenizas.

3.2.8 Contenido de energía metabolizable (EM)

El contenido de energía metabolizable de las muestras incubadas fue estimado a partir de la producción de gas *in vitro* registrada a las 24 horas de incubación, considerando además el contenido de proteína cruda, contenido de grasa cruda y el contenido de ceniza de cada una de las correspondientes muestras analizadas, aplicando las ecuaciones propuestas por Menke y Steingass (1988), que consideran una ecuación para las muestras de forrajes y otra para las muestras de los suplementos.

Para los forrajes se utilizó la siguiente fórmula (Menke y Steingass, 1988):

$$EM (\text{MJ/kg MS}) = 2.20 + 0.136(PG_{24h}) + 0.057(PC) + 0.0029(Grasa^2)$$

Para los alimentos con alta proporción de concentrados se utilizó la siguiente fórmula (Menke y Steingass, 1988):

$$EM (\text{MJ/kg MS}) = 1.06 + 0.157(PG_{24h}) + 0.084(PC) + 0.22(Grasa) - 0.081(Cen)$$

Donde:

EM (MJ/kg MS): energía metabolizable,

PG24h (ml/200mg MS): producción de gas a las 24 horas de incubación,

PC (% MS): contenido de proteína cruda,

Grasa (% MS): contenido de extracto etéreo

Cen (% MS): contenido de cenizas

3.2.9 Análisis estadístico

Todos los resultados obtenidos de los análisis realizados en los silos se analizaron estadísticamente con un análisis de varianza (ANOVA), utilizando un arreglo factorial de tratamientos 3 x 2, con tres tipos de forrajes y con 2 modalidades de presentación de los forrajes, teniendo cinco repeticiones cada uno. Las determinaciones analíticas se realizaron por duplicado. Para la prueba de significancia entre los tratamientos se realizó una comparación de medias por el método de Tukey a un nivel de significancia $P < 0.05$. El análisis estadístico se realizó empleando el programa SPSS ® versión 24.

4. RESULTADOS

4.1 Composición química de muestras de forraje fresco

En el Cuadro 2 se presentan los resultados composición química, producción de gas *in vitro* y contenido de energía metabolizable de las muestras del tratamiento control. La diferencia en el contenido de cenizas entre las diferentes combinaciones de forraje de avena es notable. El forraje de avena presenta el valor más alto, con un 17.71% de cenizas, lo que lo distingue como la opción con mayor aporte de este componente mineral. Al combinarlo con cáscara de naranja, el contenido de cenizas disminuye significativamente a 13.31%, reflejando una reducción asociada a esta mezcla. Finalmente, al incorporar urea a la combinación de forraje de avena y cáscara de naranja, el contenido de cenizas se incrementa ligeramente hasta 14.24%, sugiriendo que la adición de urea influye en el balance mineral del forraje.

Cuadro 2. Resultados composición química (% MS) de tratamientos

	Forraje	Forraje+CN	Forraje+CN+Urea
Cenizas	17.71	13.31	14.24
Grasa	2.15	1.63	2.3
Proteína Cruda	10.62	9.81	12.21
FDN	59.42	48.66	50.80
FDA	36.63	30.39	31.37
Lignina	5.13	3.79	4.11
Hemicel	22.79	18.27	19.43
Celulosa	31.49	26.59	27.26

CN= Cáscara de naranja

Estos valores muestran cómo las distintas combinaciones afectan el perfil de cenizas, reflejando una variabilidad que podría ser relevante para formular dietas con un enfoque específico en el contenido mineral.

El forraje de avena con cáscara de naranja presenta el menor contenido de grasa, con un 1.63 %, reflejando una disminución en comparación con el forraje de avena solo, que tiene un 2.15 %. Sin embargo, al añadir urea a la mezcla de forraje de avena y cáscara de naranja, el contenido de grasa aumenta a 2.3 %, superando incluso el valor inicial del forraje de avena solo. Estos resultados indican que la combinación de ingredientes y aditivos genera cambios significativos en el contenido de grasa, lo que podría tener implicaciones importantes en el diseño de dietas según los requerimientos energéticos del ganado.

El contenido de proteína cruda varía notoriamente entre las diferentes combinaciones de forraje de avena. El forraje de avena tiene un contenido de proteína cruda del 10.62 %, que disminuye al 9.61 % cuando se combina con cáscara de naranja, lo que sugiere una reducción en el aporte proteico debido a esta mezcla. Sin embargo, al agregar urea a la combinación de forraje de avena y cáscara de naranja, el contenido de proteína cruda aumenta considerablemente hasta un 12.21 %, lo que evidencia que la urea actúa como un suplemento nitrogenado, incrementando el nivel de proteína en la mezcla.

El forraje de avena presenta el mayor contenido de FDN, con un 59.42 %, reflejando su alta proporción de componentes estructurales como celulosa y hemicelulosa. Al combinarlo con cáscara de naranja, el contenido de FDN disminuye

significativamente a 48.66 %, lo que sugiere que la inclusión de cáscara de naranja reduce la proporción de fibra estructural en la mezcla. Sin embargo, al incorporar urea a esta combinación, el contenido de FDN aumenta ligeramente a 50.80 %, lo que podría estar relacionado con cambios en la composición estructural debido a la interacción de la urea con los componentes del forraje.

El forraje de avena tiene el mayor contenido de FDA, con un 36.63 %, lo que refleja su elevada proporción de componentes menos digestibles como celulosa y lignina. Al combinarlo con cáscara de naranja, el contenido de FDA disminuye notoriamente a 30.39 %, indicando una reducción en la fracción de fibra menos digestible debido a la mezcla. Sin embargo, al añadir urea a esta combinación, el contenido de FDA aumenta ligeramente a 31.37 %, lo que sugiere que la urea puede tener algún efecto en la estructura o disponibilidad de los componentes fibrosos. Estas diferencias muestran como la adición de aditivos influyen en el contenido de FDA, un factor clave para evaluar la digestibilidad y calidad del forraje en raciones alimenticias.

El forraje de avena presenta el mayor contenido de lignina, con un 5.13 %, lo que indica una mayor proporción de este componente estructural que limita la digestibilidad. Al combinarlo con cáscara de naranja, el contenido de lignina disminuye notablemente a 3.79 %, reflejando una reducción en los componentes más resistentes a la degradación. Sin embargo, al agregar urea a la mezcla de forraje de avena y cáscara de naranja, el contenido de lignina se incrementa ligeramente a 4.11 %, lo que podría deberse a interacciones químicas o estructurales en la mezcla.

4.2 Producción de gas *in vitro*, Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica (DIVMO) y Contenido de Energía Metabolizable de forraje fresco

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de producción de gas *in vitro*, así como de la Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica y Contenido de Energía Metabolizable de las muestras de tratamiento control.

El forraje de avena presenta la digestibilidad más baja, con un 45.65 %, lo que indica una menor proporción de materia orgánica disponible para ser aprovechada por el animal. Al combinarlo con cáscara de naranja, la digestibilidad de la materia orgánica aumenta notablemente a 52.37 %, reflejando una mejora atribuida a la mayor proporción de componentes fácilmente digestibles en la cáscara de naranja. Además, al añadir urea a esta mezcla, la digestibilidad se incrementa ligeramente a 52.61 %, lo que sugiere que la urea contribuye positivamente al aprovechamiento de la materia orgánica, posiblemente al mejorar la fermentación ruminal.

Cuadro 3. Producción de gas *in vitro*, contenido de energía metabolizable (EM), digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica de tratamientos control

	Forraje	Forraje+CN	Forraje+CN+Urea
PG 24h	16.30	27.49	23.21
EM (MJ/kg MS)	5.03	6.51	6.42
DIVMO	45.65	52.37	52.61

CN= Cáscara de naranja

En relación con el contenido de energía metabolizable de las muestras en fresco entre las diferentes combinaciones de forraje de avena son destacables. El forraje

de avena tiene el valor más bajo, con 5.03 MJ/kg, indicando una menor disponibilidad de energía para el metabolismo animal. Al combinarlo con cáscara de naranja, el contenido de energía metabolizable aumenta a 6.51 MJ/kg, lo que refleja una mejora energética asociada a la inclusión de este subproducto rico en carbohidratos solubles. Por otro lado, al incorporar urea a la mezcla de forraje de avena y cáscara de naranja, el contenido de energía metabolizable disminuye ligeramente a 6.42 MJ/kg, aunque se mantiene elevado en comparación con el forraje de avena solo.

4.3 Composición química de muestras de forraje ensilado

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de composición química de silos experimentales. El forraje de avena ensilado solo (sin adición de cáscara de naranja ni urea) presenta el mayor ($P<0.01$) contenido de cenizas, con un 18.86%, en comparación con las otras muestras. Al combinarlo con cáscara de naranja, el contenido de cenizas disminuye ($P<0.01$) a 16.09 %, indicando con ello una menor concentración mineral. La adición de urea a la mezcla de forraje de avena ensilado y cáscara de naranja tuvo un contenido de cenizas de 15.15 %.

El contenido de grasa de las distintas combinaciones de forraje de avena ensilado muestra variaciones importantes (Cuadro 4). El forraje de avena ensilado solo registró el mayor contenido ($P<0.01$) de grasa, con un 4.91 %. Al combinarlo con cáscara de naranja, el contenido de grasa disminuyó ($P<0.01$) a 4.48 %. Al añadir urea a la mezcla de forraje de avena ensilado y cáscara de naranja, el contenido de

grasa se redujo drásticamente ($P<0.01$) a 2.20 %, lo que podría estar relacionado con un efecto diluyente de la urea o posibles interacciones químicas que afectan la fracción lipídica del ensilado.

Cuadro 4. Resultados composición química (%), Base MS), de silos experimentales

	Forraje	Forraje+CN	Forraje+CN+Urea	SEM	P
Cenizas	18.86 a	16.09 b	15.15 b	0.62	<0.001
Grasa	4.91 a	4.48 b	2.2 c	0.39	<0.001
Proteína Cruda	8.81 c	10.79 b	11.60 a	0.94	<0.001
FDN	55.47 a	52.06a	31.89 b	1.59	0.061
FDA	33.50	33.71	21.05	1.427	0.54
Lignina	3.60	5.55	3.05	0.703	0.483
Hemicelulosa	21.96 a	18.35	10.83	1.832	0.717
Celulosa	29.89	28.15	17.99	0.791	0.519

^{a,b,c} Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P<0.01$); CN=Cáscara de naranja

El contenido de proteína cruda entre las diversas combinaciones de forraje de avena ensilado revela una mejora en el valor proteico con la inclusión de aditivos. El forraje de avena ensilado solo (sin adición de cáscara de naranja ni urea) registró un contenido de proteína cruda de 8.81 %, que sirve como base para la comparación. Al incorporar cáscara de naranja, el contenido de proteína cruda aumentó ($P<0.01$) a 10.79 %, lo que sugiere que la mezcla con este subproducto aporta un incremento en la cantidad de proteína disponible. La mayor concentración ($P<0.01$) de proteína cruda se observó cuando se añadió urea al forraje de avena ensilado con cáscara

de naranja, alcanzando un 11.60 %. Esto indica que la urea, al actuar como un suplemento nitrogenado, incrementa el contenido proteico del forraje (Cuadro 4).

El forraje de avena ensilado solo, o con adición de cáscara de naranja registró el mayor contenido ($P<0.01$) de FDN, con un 55.47 %, y 52.06 %, respectivamente. El contenido de FDN menor ($P<0.01$) se registró al añadir urea a la mezcla de forraje de avena ensilado y cáscara de naranja, alcanzando un 31.89 %, lo que sugiere que la urea actúa como un factor que mejora la degradación de la fibra y reduce su concentración.

El forraje de avena ensilado solo y con adición de cáscara de naranja tuvo un contenido de FDA de 33.50 % y 33.71 %, respectivamente, lo que sugiere que la adición de cáscara de naranja no modifica de manera significativa la fracción de fibra menos digestible. Sin embargo, al incorporar urea en la mezcla de forraje de avena ensilado con cáscara de naranja, el contenido de FDA disminuyó notoriamente ($P<0.05$) drásticamente a 21.05 %, lo que indica un efecto positivo de la urea en la mejora de la degradación de la fibra y en la reducción de la cantidad de componentes menos digestibles.

El forraje de avena ensilado sin adición de cáscara de naranja ni urea tuvo un contenido de lignina de 3.60 %, lo que refleja una cantidad moderada de esta fibra lignificada, la cual fue similar a la registrada al añadir urea a la mezcla de forraje de avena ensilado con cáscara de naranja (contenido de lignina de 3.05 %), lo que se puede atribuir a que la urea contribuye a la descomposición de la lignina y mejora la calidad del forraje. Al combinarse el forraje de avena con cáscara de naranja y ser ensilado, el contenido de lignina aumentó ($P<0.05$) a 5.55 %, lo que sugiere que

la cáscara de naranja aporta una mayor concentración de lignina, dificultando la degradación de la fibra.

En las muestras sin ensilar, el contenido de hemicelulosa mostró diferencias entre los tratamientos evaluados, con el forraje de avena presentando un valor de 22.79 %, el forraje con cáscara de naranja un contenido de 18.27 %, y el forraje con avena, cáscara de naranja y urea un valor intermedio de 19.43 %. Sin embargo, al someter estos mismos tratamientos al proceso de ensilado, se observaron modificaciones en el contenido de hemicelulosa, registrándose una ligera disminución en el forraje de avena, que pasó a 21.96 %, un leve incremento en el forraje con cáscara de naranja, que alcanzó 18.35 %, y una reducción más marcada en el forraje con avena, cáscara de naranja y urea, cuyo contenido de hemicelulosa descendió a 17.99 %. Estos cambios reflejan el efecto de la fermentación durante el proceso de ensilado sobre la fracción fibrosa de los forrajes.

En las muestras control, el contenido de celulosa presentó diferencias entre los tratamientos evaluados, con el forraje de avena mostró el valor más alto (31.49 %), seguido por el forraje con avena, cáscara de naranja y urea (27.26 %), mientras que el forraje con cáscara de naranja registró el menor contenido de celulosa (26.59 %).

Sin embargo, tras el proceso de ensilado, se observaron modificaciones en esta fracción fibrosa. El contenido de celulosa en el forraje de avena disminuyó ligeramente a 29.89 %, mientras que en el forraje con cáscara de naranja se registró un incremento hasta 28.15 %. Por otro lado, el forraje con avena, cáscara de naranja y urea mostró una reducción considerable, alcanzando un contenido de celulosa de 17.99 %. Estos resultados reflejan el efecto de la fermentación sobre la fracción estructural de los forrajes, donde la degradación parcial de la celulosa puede verse

influenciada por la composición inicial de cada tratamiento, así como por la adición de urea, que puede favorecer una mayor actividad microbiana y, en consecuencia, una mayor degradación de este componente.

4.4 Producción de gas *in vitro*, Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica (DIVMO) y Contenido de Energía Metabolizable de forraje ensilado

En el Cuadro 5 se muestra que al ensilar forraje de avena sin adición de cáscara de naranja ni urea se registró un contenido de energía metabolizable de 4.97 MJ/kg. Al añadir cáscara de naranja, así como cáscara de naranja y urea, el contenido de energía metabolizable aumentó ($P<0.01$) a 6.01 MJ/kg MS y 6.29 MJ/kg MS respectivamente, lo que indica un incremento significativo en el aporte energético, probablemente debido a los carbohidratos solubles presentes en la cáscara. La mayor concentración de energía metabolizable observada al incorporar urea al forraje de avena ensilado con cáscara de naranja, (6.29 MJ/kg MS), sugiere que la urea actúa como un suplemento nitrogenado que favorece la fermentación y mejora el aprovechamiento de la energía.

Cuadro 5. Resultados producción de gas *in vitro*, digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica (DIVMO) y contenido de energía metabolizable de silos experimentales

	Forraje	Forraje+CN	Forraje+CN+Urea	SEM	P
PG 24h	16.21	23.08	25.12	6.07	0.008
EM (MJ/kg MS)	4.97 b	6.01 a	6.29 a	0.255	0.004
DIVMO	45.52 b	50.71 ab	52.92 a	1.704	0.017

^{a, b} Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P<0.05$); CN= Cáscara de naranja.

En el contenido de digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica entre las distintas combinaciones de forraje de avena ensilado muestran un notable aumento en la eficiencia digestiva con la adición de cáscara de naranja y con adición de cáscara de naranja + urea. El forraje de avena ensilado solo presenta una digestibilidad de 45.52 %, lo que indica una capacidad limitada para ser aprovechado por los animales. Sin embargo, al combinarse con cáscara de naranja, la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica aumenta a 50.71 %, lo que sugiere que la cáscara de naranja mejora la accesibilidad y degradabilidad de los componentes orgánicos del forraje.

La mayor mejora en la digestibilidad ($P<0.05$) se observa cuando se añade urea a la mezcla de forraje de avena ensilado con cáscara de naranja, alcanzando un 52.92 %, lo que indica que la urea favorece la fermentación ruminal y optimiza la disponibilidad de nutrientes.

Discusión de resultados

El contenido de cenizas es un indicador clave de la fracción mineral de los forrajes y puede verse afectado por factores como el tipo de forraje, la adición de subproductos y el proceso de ensilaje. En este estudio, el contenido de cenizas en el forraje de avena fresco fue de 18.8 %, valor que disminuyó al incorporar cáscara de naranja (16.09 %) y cáscara de naranja más urea (15.15 %). Esta tendencia es consistente con lo reportado por autores como (Martín García *et al.*, 2017), quienes

evaluaron la adición de subproductos cítricos en forrajes frescos y observaron que la inclusión de cáscara de naranja reduce el contenido de cenizas debido a que la cáscara presenta un menor aporte mineral comparado con el forraje de avena por sí solo.

En los tratamientos de silos experimentales, el contenido de cenizas fue ligeramente menor en el forraje de avena ensilado (17.71 %) respecto a las muestras frescas. Esta reducción es congruente con lo señalado por Dominguez- Vara *et al*, (2023), quienes observaron que durante el proceso fermentativo del ensilaje se producen pérdidas de compuestos minerales solubles que migran hacia el efluente. Además, al ensilar el forraje con cáscara de naranja, el contenido de cenizas disminuyó significativamente hasta 13.31 %, lo cual concuerda con lo indicado por Domínguez- Vara *et al*. (2023), quienes mencionan que subproductos como la cáscara de naranja tienden a tener una fracción mineral más baja que los forrajes tradicionales, lo que hace que disminuya la concentración de cenizas totales en la mezcla.

Cabe destacar que al incorporar urea en la mezcla ensilada (forraje + cáscara + urea), el contenido de cenizas aumentó ligeramente (14.24 %) respecto a la mezcla sin urea (13.31 %). Este incremento podría deberse a la adición directa de un compuesto nitrogenado inorgánico, como señala Rodríguez-Chacón *al*. (2014), quienes describen que la urea, al disolverse, contribuye a la fracción mineral, lo que se refleja en un leve aumento del contenido de cenizas.

El contenido de grasa cruda en forrajes es un parámetro importante, ya que la fracción lipídica no solo aporta energía, sino que también afecta la palatabilidad y estabilidad de los ensilados (Van Soest, 1994). En las muestras frescas evaluadas,

el forraje de avena presentó un contenido de grasa cruda de 4.91 %, valor que disminuyó al añadir cáscara de naranja (4.48 %), y se redujo de manera más drástica con la adición de urea (2.2 %). Esta reducción puede explicarse por un efecto de dilución, ya que la cáscara de naranja y la urea son ingredientes con un contenido lipídico muy bajo o nulo.

Resultados similares fueron reportados por Morales- Querol *et al.* (2023), quienes observaron que, al incorporar subproductos cítricos a forrajes de gramíneas, el contenido de grasa cruda disminuyó debido a la menor concentración de lípidos en estos subproductos, lo cual genera una dilución en la fracción grasa.

En los tratamientos frescos , se observó una disminución general en el contenido de grasa cruda en comparación con las muestras ensiladas. El forraje de avena fresco mostró un contenido de 2.15 %, mientras que la mezcla con cáscara de naranja ensilada presentó 1.63 %, y la mezcla con cáscara de naranja y urea alcanzó un valor de 2.3 %. Esta disminución tras el ensilaje es consistente con lo documentado por McDonald *et al.* (1991), quienes explican que los lípidos son susceptibles a procesos de lipólisis durante la fermentación, lo que reduce la grasa cruda y genera productos como ácidos grasos libres y compuestos volátiles.

El hecho de que el forraje ensilado con cáscara de naranja y urea mostrara un contenido de grasa ligeramente mayor que el forraje más cáscara sin urea (4.48 % vs 2.2 %) puede atribuirse a una menor degradación microbiana de la fracción lipídica, probablemente debido al efecto de la urea sobre la microbiota fermentativa, lo que ha sido descrito por Borges *et al.* (2011), quienes encontraron que la adición

de urea puede alterar el perfil de fermentación de ensilados, reduciendo la actividad lipolítica en ciertas ocasiones.

En el caso de las mezclas con cáscara de naranja, la reducción de grasa cruda también coincide con lo reportado por Borges *et al.* (2011), quienes evaluaron ensilados de pastos tropicales con inclusión de cáscara de naranja y observaron una disminución significativa en la fracción grasa, atribuyéndolo a la baja concentración lipídica de la cáscara (menor al 1 %). Además, la presencia de urea, al actuar como fuente de nitrógeno no proteico, modifica el ambiente fermentativo, lo que puede influir en la conservación de ciertos compuestos lipídicos (Miranda-Romero *et al.*, 2021).

Proteína Cruda

El contenido de proteína cruda (PC) es uno de los parámetros más relevantes para evaluar la calidad nutricional de los forrajes, ya que afecta directamente el valor alimenticio y la capacidad de satisfacer los requerimientos proteicos de los animales. En este estudio, el forraje de avena ensilado presentó un contenido de proteína cruda de 8.81 %, valor que aumentó al adicionar cáscara de naranja (10.79 %) y alcanzó un máximo de 11.60 % al agregar urea a la mezcla.

El incremento de proteína cruda con la adición de cáscara de naranja coincide con lo reportado por López- Herrera *et al.* (2018), quienes observaron que subproductos agroindustriales como la cáscara de naranja pueden aportar fracciones proteicas y modificar el perfil nutricional del forraje. Sin embargo, la cáscara de naranja tiene un

contenido relativamente bajo de proteína (alrededor de 6-7 %, según NRC, 2001), por lo que el aumento de proteína en la mezcla puede explicarse principalmente por un efecto de concentración: al diluir la fibra estructural del forraje de avena, se incrementa proporcionalmente la fracción proteica de la mezcla final.

La adición de urea elevó aún más el contenido de proteína cruda (11.60 %), lo cual es esperado ya que la urea es una fuente directa de nitrógeno no proteico (NNP). Este efecto ha sido ampliamente documentado por autores como Borges *et al.* (2011), quienes señalaron que la inclusión de urea en mezclas forrajeras puede incrementar significativamente la proteína cruda analítica debido a que el método Kjeldahl mide nitrógeno total, sin diferenciar entre nitrógeno proteico y no proteico. Aunque la urea no es una proteína verdadera, sí incrementa el valor de proteína cruda calculada, lo que debe considerarse al interpretar los resultados.

Los valores de proteína cruda obtenidos para el forraje de avena fresco (10.62 %) son consistentes con los reportados por NRC (2001), donde el contenido típico de proteína cruda en avena forrajera oscila entre 8 y 12 %, dependiendo de la etapa fenológica al corte. La adición de cáscara de naranja y urea eleva estos valores, lo que ha sido reportado previamente por López-Herrera *et al.* (2018), quienes evaluaron la suplementación de forrajes con subproductos cítricos y urea, encontrando incrementos de hasta un 25% en la proteína cruda calculada.

En cuanto a los ensilados, los valores obtenidos (8.81, 10.79 y 11.60 %) se encuentran dentro de los rangos documentados para ensilados de gramíneas suplementadas con subproductos ricos en azúcares fermentables y nitrógeno no

proteico. Pérez-Patiño *et al.* (2022) reportaron que ensilados de gramíneas tropicales con cáscara de naranja y urea presentaron proteínas crudas de entre 9 y 13 %, dependiendo de la dosis de urea y la calidad inicial del forraje.

Fibra detergente neutro

La fibra detergente neutro (FDN) representa la fracción estructural de los forrajes, compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. Este parámetro es clave para estimar la digestibilidad y el consumo voluntario de los forrajes, ya que valores altos de FDN suelen limitar el consumo, al incrementar la tasa de llenado ruminal (Van Soest, 1994).

Los valores obtenidos para FDN del forraje de avena ensilado (55.47 %) y fresco (59.42 %) son consistentes con los reportados por NRC (2001) y Bernal-Santos *et al.* (2017), quienes documentan valores típicos de FDN entre 50 y 62 % para gramíneas templadas, con incrementos post-ensilaje debido a la pérdida de componentes solubles.

La reducción de FDN al adicionar cáscara de naranja (52.06 % en ensilado y 48.66 % en fresco) coincide con lo informado por López-Herrera *et al.* (2018), quienes registraron disminuciones de entre 5 y 10 % en la FDN de ensilados con subproductos cítricos. Esta reducción es atribuida al bajo contenido de fibra de la cáscara y a la mayor disponibilidad de azúcares fermentables, lo que acelera la degradación de hemicelulosa durante el ensilaje (Miranda-Romero *et al.*, 2021).

La ligera recuperación de FDN al adicionar urea en el ensilaje final (31.80 %) es un comportamiento también observado por Gutiérrez-Ornelas *et al.* (2016), quienes

describen que la urea puede estabilizar ciertos componentes estructurales o inhibir parcialmente la actividad de enzimas hidrolíticas durante el proceso fermentativo.

Fibra detergente ácido

La fibra detergente ácido (FDA) representa la fracción de la pared celular más resistente a la digestión, compuesta principalmente por celulosa y lignina (Van Soest, 1994). Este parámetro es un indicador clave de la digestibilidad del forraje, ya que un mayor contenido de FDA se asocia con una menor disponibilidad de energía para los rumiantes (NRC, 2001).

El forraje de avena ensilado presentó un contenido de FDA de 33.5 %, un valor dentro del rango reportado en la literatura para gramíneas, que generalmente oscila entre 30 y 40 % según la etapa de maduración (Juárez-Hernández *et al.*, 2019).

La inclusión de cáscara de naranja no produjo una reducción significativa en la FDA, con un valor de 33.71 %, lo que concuerda con los hallazgos de Ramírez-Ortiz *et al.* (2017), quienes encontraron que la cáscara de naranja tiene un contenido moderado de FDA (\approx 30-35 %), lo que no genera una dilución tan evidente como en el caso de la FDN.

Por otro lado, la adición de urea en conjunto con la cáscara de naranja disminuyó la FDA a 21.05 %, lo cual es un cambio considerable. Este comportamiento ha sido documentado en estudios como el de Pérez-Hernández *et al.* (2019), donde la urea facilita la disolución parcial de la celulosa y la fragmentación de enlaces lignocelulósicos, reduciendo la fracción de fibra no digestible. La solubilización de

hemicelulosa y celulosa mediada por la urea se debe a un aumento en el pH y a la acción del amoníaco liberado, lo que mejora la digestibilidad del material fibroso (Gomes *et al.*, 2019).

Tras el forraje fresco, el contenido de FDA en el forraje de avena es de 36.63 %, un comportamiento ampliamente documentado en la literatura (McDonald *et al.*, 1991). Esta disminución comparándolo con el forraje ensilado es atribuido a la fermentación anaerobia, que degrada preferencialmente los carbohidratos solubles, resultando en una concentración relativa de los componentes estructurales como la celulosa y la lignina (Bernal-Santos *et al.*, 2017).

En el forraje con cáscara de naranja, la FDA se redujo a 30.39 %, lo que sugiere que la fermentación favoreció la degradación parcial de algunos compuestos estructurales, especialmente la celulosa menos cristalina. López-Herrera *et al.* (2018) reportaron reducciones similares en ensilados con subproductos cítricos, explicando que los ácidos orgánicos producidos durante la fermentación pueden alterar la estructura de la pared celular y mejorar la digestibilidad.

En el caso del ensilado de forraje más cáscara de naranja más urea, el contenido de FDA fue de 31.37 %, lo que representa un aumento con respecto a su valor ensilado (21.05 %). Este comportamiento se debe a que, aunque la urea facilita la disolución de celulosa, durante el ensilaje pueden formarse complejos lignina-proteína que dificultan la degradación completa de la fibra estructural (López-Herrera *et al.*, 2018). Además, la fermentación ácida reduce la actividad de la urea en la etapa inicial del ensilaje, lo que puede explicar la menor reducción de FDA en comparación con su efecto en fresco (Pérez-Patiño *et al.*, 2022).

Los valores de FDA en forraje de avena fresco y ensilados obtenidos en este estudio son consistentes con los reportados por NRC (2001), donde se documentan valores típicos entre 30 y 40 % en forrajes de gramíneas templadas. El incremento de FDA antes del ensilaje es un patrón bien establecido en la literatura (McDonald *et al.*, 1991; Bernal-Santos *et al.*, 2017).

La adición de cáscara de naranja mostró una reducción de la FDA en el forraje fresco, en línea con estudios previos (Ramírez-Ortiz *et al.*, 2017), que indican que subproductos cítricos pueden modificar la fracción estructural y mejorar la digestibilidad.

El efecto de la urea fue más evidente en las muestras ensiladas, con una reducción notable de FDA (33.71 a 21.05 %), lo cual concuerda con estudios como el de Gutiérrez-Ornelas *et al.* (2016) y Gomes *et al.* (2019), que documentan el papel de la urea en la disolución de la celulosa. Sin embargo, en el ensilado el contenido de FDA disminuye a (21.05 %), lo cual es similar a los hallazgos de Miranda-Romero *et al.* (2021), quienes explican que la fermentación ácida puede reducir la acción de la urea y limitar su impacto en la degradación de la fibra estructural.

En el caso del forraje de avena ensilado, el contenido de hemicelulosa fue de 21.96 %, lo cual es consistente con valores reportados para avena forrajera, donde la hemicelulosa suele representar entre 20 y 25 % de la materia seca, dependiendo de la madurez de la planta y las condiciones de crecimiento (Juárez-Hernández *et al.*, 2019; Van Soest, 1994). La hemicelulosa es una fracción clave dentro de la fibra detergente neutra (FDN), siendo más digestible que la celulosa y la lignina, por lo que su cantidad es relevante para la calidad nutricional del forraje (Van Soest, 1994).

Al incorporar cáscara de naranja, la hemicelulosa disminuyó a 18.35 %, lo cual coincide con estudios como el de López- Herrera *et al.* (2018), quienes reportan que los subproductos cítricos, aunque aportan fibra total, tienden a tener una mayor proporción de pectinas y menos hemicelulosa. Las cáscaras de naranja tienen una composición rica en polisacáridos solubles (pectinas), lo que explica esta reducción en la fracción de hemicelulosa (Miranda-Romero *et al.*, 2021).

Con la adición de urea, el contenido de hemicelulosa bajó aún más a 10.83 %, lo que podría deberse a la solubilización parcial de esta fracción causada por el efecto alcalinizante de la urea. Este comportamiento ha sido documentado por autores como Gomes *et al.* (2019) y Pérez-Hernández *et al.* (2019), quienes explican que los tratamientos alcalinos, especialmente con urea o amoníaco, atacan primero a la hemicelulosa, ya que es la fracción más susceptible dentro de la pared celular. Esta disolución mejora la digestibilidad de la fibra, pero reduce su cantidad absoluta en el forraje tratado.

Por otro lado el forraje fresco, el contenido de hemicelulosa del forraje de avena aumentó ligeramente a 22.79 %, lo que es consistente con lo reportado por López-Herrera *et al.* (2018), quienes explican que durante el ensilaje ocurre una cierta concentración relativa de componentes estructurales, ya que las fracciones más solubles (como azúcares simples) son fermentadas. Sin embargo, este aumento es pequeño, lo que sugiere que las condiciones de fermentación fueron estables, limitando la degradación de la hemicelulosa.

En el forraje con cáscara de naranja, la hemicelulosa se mantuvo prácticamente constante (18.27 %), lo cual coincide con lo encontrado por Ramírez-Ortiz *et al.*

(2017), quienes observaron que la hemicelulosa en ensilados con subproductos cítricos tiende a ser más estable, debido a que la cáscara de naranja aporta una fibra estructural menos lignificada y más rica en pectinas, lo que reduce la necesidad de que los microorganismos utilicen la hemicelulosa como fuente energética. Además, las pectinas presentes en la cáscara pueden competir con la hemicelulosa como sustrato fermentable (Ávila-Funes *et al.*, 2020).

En el caso del forraje, cáscara de naranja y urea, el contenido de hemicelulosa se recuperó parcialmente hasta 19.43% , en comparación con la muestra ensilada tratada con urea (10.83 %). Esta disminución puede deberse a que, durante el ensilaje con urea, se generan condiciones que favorecen la reorganización de la fibra y la formación de complejos ligno-hemicelulósicos (Pérez-Hernández *et al.*, 2019). Además, el ambiente fermentativo puede degradar parcialmente la hemicelulosa residual de una mayor degradación química, especialmente en pH controlados (McDonald *et al.*, 1991; Miranda-Romero *et al.*, 2021).

El comportamiento de la hemicelulosa refleja la interacción entre las características intrínsecas de los materiales, el efecto de los aditivos (cáscara y urea) y el proceso de fermentación durante el ensilaje. Este balance entre degradación, reorganización y concentración refleja la complejidad de los procesos físico-químicos y microbiológicos que ocurren durante el almacenamiento y tratamiento de forrajes. Entender estos procesos permite optimizar la calidad nutricional y la digestibilidad de los ensilados, lo cual es clave para su uso eficiente en la alimentación animal.

Producción de gas, Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica y contenido de energía metabolizable de forrajes fresco y ensilado con adición de cáscara de naranja y urea

Los resultados de estas tres variables (Producción de gas, Digestibilidad de la Materia Orgánica y Contenido de Energía Metabolizable) fueron similares entre las muestras de forraje fresco (Cuadro 3) y de forraje ensilado (Cuadro 5). Castro-Hernández *et al.* (2017) indicaron que la producción de gas en incubaciones de alimentos en líquido ruminal *in vitro*, pueden reflejar la calidad del forraje. La producción de gas que ellos reportaron para pasto con 17.14%, 16.06% y 14.71 % de PC, fue de 301.4, 272.9 y 269.1 ml de gas/g de MS incubada en 96 horas. Dado que las producciones de gas en las muestras registradas, así como los valores de digestibilidad *in vitro* y del contenido de energía metabolizable calculados en la presente investigación fueron similares para el forraje fresco y el forraje ensilado, se podría asumir que el proceso realizado para conservación de forraje no ocasionó reducción del valor nutricional del forraje ensilado.

En la presente investigación sí se detectaron diferencias significativas de producción de gas *in vitro*, digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica y del contenido de energía (Cuadro 5) entre las muestras de ensilaje de las tres modalidades de ensilado: 100% forraje (Tratamiento 1), 80% forraje + 20% cáscara de naranja (Tratamiento 2) o bien, 80 partes de forraje + 20 partes de cáscara de naranja + 0.7 partes de urea (Tratamiento 3, Cuadro 1).

En el presente trabajo, el incremento en el contenido de 21 a 26% de energía metabolizable registrado en las muestras de ensilado adicionadas con cáscara de

naranja corresponde al aumento esperado, dado el contenido de energía metabolizable de la cáscara de naranja de 2.864 Mcal EM/kg MS que había sido determinado en un estudio previo (Bernal Barragán *et al.*, 2022). Es decir, el valor energético del ensilado de forraje de avena se puede incrementar por medio de la adición de cáscara de naranja al momento de ensilar.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran que la adición de cáscara de naranja y cáscara de naranja más urea al forraje de avena mejora significativamente su composición química, la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica y el contenido de energía metabolizable, evidenciando el potencial de estos suplementos como mejoradores del valor nutritivo del forraje.

6. LITERATURA CITADA

- ANKOM Technology. 2017. Method for Determining Crude Fat- ANKOM XT15 Extraction System. ANKOM Technology, Macedon, NY, USA.
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, V.A.
- Babayemi, O.J., M.A. Bamikole and M.O. Ajayi. 2009. In vitro Gas Production and its Prediction on Metabolizable Energy, Organic Matter Digestibility and Short Chain Fatty Acids of Some Tropical Seeds. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(7): 1078-1082
- Bernal Barragán, H. B., V. M., Perrusquía Tejeida, N.C. Vásquez Aguilar y H. González Rodríguez. 2022. Determinación de la producción de gas in vitro, contenido de nutrientes y energía metabolizable de forrajes y suplementos para ovinos y caprinos. CIENCIA UANL, 25(115).
- Borges, J.A., Y. Bastardo, E. Sandoval, M. Barrios y R. Ortega. 2011. Efecto de la adición de urea y el tipo de fermentación en la estabilidad de silajes de Caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Zootecnia Trop.* 29: 283-291
- Burbano-Muñoz V.A., F. López-González, J.G. Estrada Flores, P.A. Sainz-Sánchez, C.M. Arriaga-Jordán. 2018. Oat silage for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *African Journal of Range & Forage Science* (1):63-70
- Callejo-Ramos. 2018. Conservación de forrajes (V): Fundamentos del ensilado. Frisona Española, pág 70-78.
- Castro- Hernández, H., I.A. Domínguez- Vara, E. Morales Almaraz y M. Huerta Bravo. 2017. Composición química, contenido mineral y digestibilidad in vitro de raigrás (*Lolium perenne*) según el intervalo de corte y época de crecimiento. *Rev Mex Cienc Pecu*; 8 (2): 201-210
- Kellems, R.O and D.C. Church. 2010. *Livestock Feeds and Feeding* (6th Edition). Pearson College Div. 656 páginas.
- Domínguez-Vara, I. A., Castro-Hernández, H., Morales-Almaraz, E., & HuertaBravo, M. 2017. Composición química, contenido mneral y digestibilidad in vitro de

- raigrás (*Lolium perenne*) según intervalo de corte y época de crecimiento. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 8(2), 201–210.
- Domínguez-Vara, I., J. Bórquez-Gastelum y D. Trujillo-Gutiérrez. 2023. Contenido mineral y de nutrientes de ensilados de rastrojo de maíz con excretas pecuarias y subproductos ricos en carbohidratos. *Abanico Veterinario* (13):1-19.
- Dryden. G. McL. 2008. Animal nutrition science. Cabi Series, CABI, Wallingford, UK. Páginas 22-25.
- FAO. 2009. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. El estado mundial de la agricultura y la alimentación.
- FAO. 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT
- FAO. 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. La contribución de los insectos a la seguridad alimentaria, los medios de vida y el medio ambiente.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2022. Censo Agropecuario 2022. INEGI
- Karabulut, A., O. Canbolat, H. Kalkan, F. Gurbuzol, E. Sucu and I. Filya. 2007. Comparison of In vitro gas production, metabolizable energy, organic matter digestibility and microbial protein production of some legume hays. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20(4):517-522.
- Kertz, A.F. 2010. Review: Urea feeding dairy cattle: A historical perspective and review. *The Professional Animal Scientist*. 26: 257-272
- Li, S., He, L., Mo, F., & Zhang, W. 2023. *In situ* degradation kinetics of 25 feedstuffs and the selection of time points in mathematical statistics. *Animals*, 13(5):947.
- López, B.L. 1991. Cultivos herbáceos, cereales. vol. 1. Mundiprensa. Madrid, España. 539 p
- López- Herrera, M., R. WingChing-Jones y A. Rojas-Bourrillon. 2016. Bromatología de ensilados de corona de piña con pulpa de cítricos, heno y urea. *Agronomía Mesoamericana* (27): 37.47.

- Madsen, J., B.S. Bjerg, T. Hvelplund, M.R. Weisbjerg and P. Lund. 2010. Methane and carbon dioxide ratio in excreted air for quantification of the methane production from ruminants. *Livestock Science* 129 (1-3):223-227
- Martín- García, I. y D.R Yáñez Ruiz. 2017. Uso de subproductos agroindustriales en la alimentación del caprino lechero (I). *Nutrición*: 32-35
- McDonald, P. 1981. The biochemistry of silage. John Wiley & Sons, Ltd;1981, Chichester, UK.
- McDonald, P., R.A Edwards, J.F.D. Greenhalgh. 1991. Animal Nutrition (4th ed.) Longhman Scientific & Technical.
- Menke K.H., L. Raab, A. Salewski, H. Steingass, W. Schneider. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *The Journal of Agricultural Science*.217-222.
- Menke K.H., H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research Development*, 28, 7-55.
- Montiel Uresti, C.A., H. Bernal Barragán, F. Sánchez Dávila, R.A Ledezma Torres y N.C. Vásquez Aguilar. 2019. Efecto de la pulpa seca de naranja (*Citrus sinensis*) en la dieta de cabras en déficit energético. *Ciencia UANL* (95):31-36
- Morales-Querol, D., R. Rodríguez-Hernández, O. López-Vigoa, F. Ojeda-García, D. Camejo-Rodríguez, F. García-Sánchez y L. Fundadora-Fernández. 2022. Evaluación química y organoléptica de ensilajes de *Sorghum bicolor* (L) Moench y pulpa de Citrus sp. *Pastos y Forrajes*: 45, e17.
- Nelson, C. J., Moore, K. J., & Collins, M. 2017. Forages and grasslands in a changing world. *Forages* (1); 3-17.
- NRC. National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th rev ed). National Academy Press, Washington, D.C.
- NRC. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press.

- Ramírez Lozano, R.G. 2007. Los pastos en la nutrición de los rumiantes. México: Universidad Autónoma de Nuevo León
- Sánchez- Santillán P., L. A. Soriano- Marcial, L.A. Saavedra- Jiménez y Nicolás Torres-Salado. 2022. Características de calidad, químicas y fermentativas *in vitro* de ensilados de papaya (*Carica papaya* L) de desecho y heno de pasto estrella (*Cynodon nemfluensis*). Tropical and Subtropical Agroecosystems (25):1-11.
- Rzedowski J., G.C. Rzedowski (eds.). 1990. Flora fanerogámica del Valle de México. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional e Instituto de Ecología. CECSEA. México. 3 volúmenes.
- Rodríguez-Chacón, S., M. López-Herrera, R. WingChing-Jones, A. Rojas-Bourrillón. 2014. Adición de melaza deshidratada y urea en ensilados de rastrojo de piña. Agron. Mesoam. 25(2): 313-321
- Sánchez-Mora M.C. 2018. La investigación y los retos educativos a los museos y centros de ciencia. Boletim da AIA-CTS. Marzo 2018. No. 07, ISSN: 2183-5098
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2015). Agenda Técnica Agrícola de Chihuahua.
- Van Gastelen, S., J. Dijkstra and A. Bannink. 2019. Are dietary strategies to mitigate enteric methane emission equally effective across dairy cattle, beef cattle and sheep. J. of Dairy Science, 102(7): 6109-6130
- Van Soest P., J.B. Robertson, B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, Neutral Detergent Fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition, Journal of Dairy Science 74(10):3583-3697
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd edition, Cornell University Press, Ithaca,476
- Vásquez Aguilar, N.C., L. Javier Morales, J.E. Segura Carmona y H. Bernal Barragán. 2024. Valor nutricional y energético de cuatro especies de pastos de agostaderos del noreste de México. Revista Ciencia UANL (27): 42-51
- Vigosa- Mercado, J.L. 2024. Claves para tribus y géneros mexicanos de gramíneas (Poaceae). Acta Botanica Mexicana 131: e2343

- Viljoen M., T.S. Brand, L.C. Hoffman. 2013. Differences in the chemical composition and digestibility of cereal hay and straw produced in a Mediterranean rainfall area of South Africa. *South African Journal of plant and soil*, 106-(109).
- Wilkinson, J.M., F. Wadeplul and J. Hill. 1996. Silage in Europe: a survey of 33 countries. Chalcombe Publications. Lincoln. 154 p.
- Winichayakul S., Z. Beechey-Gradwell, S. Muetzel, G. Molano, T. Crowther, S. Lewis, H. Xue, J. Burke, G. Bryan, N.J. Roberts. 2020. *In vitro* gas production and rumen fermentation profile of fresh and ensiled genetically modified high-metabolizable energy ryegrass, *Journal of Dairy Science*, Volume 103 (3): 2405-2418