



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**PALATABILIDAD EN CABRAS DEL RASTROJO
DE MAÍZ TRATADO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:

JOSUÉ JONATHAN RÍOS HILARIO

ASESORAS:

DRA. DENE B CAMACHO MORFÍN

Q.B. LILIAN MORFÍN LOYDEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos La Tesis:

Palatabilidad en cabras del rastrojo de maiz tratado

Que presenta el pasante: JOSUÉ JONATHAN RÍOS HILARIO
Con número de cuenta: 41107881-0 para obtener el Título de. Médico Veterinario Zootecnista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 14 de diciembre de 2016.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Miguel Ángel Galina Hidalgo	
VOCAL	Dra. Denah Camacho Morfin	
SECRETARIO	M. en C. César Garzón Pérez	
1er SUPLENTE	Dra. Ma de los Ángeles Ortiz Rubio	
2do SUPLENTE	Dr. Jesús Jonathan Ramirez Espinosa	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).
En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.
(Art 127 REP)
LMCF/ntm*

Este trabajo fue realizado con el apoyo del programa:

UNAM-DGAPA-PAPIME

PE207714

Dedicatorias:

Porque siempre han estado a mi lado, por sus consejos,
su cariño y su apoyo incondicional.

A mis padres Ángela y Juventino

A mis hermanos, por compartir tantas cosas a mi lado
y su apoyo en momentos difíciles

Por asesorarme durante esta experiencia y además de eso,
por su amistad y apoyarme a crecer personal
y profesionalmente.

Dra. Deneb

A mis amigos, gracias por hacer esta etapa universitaria
lo más amena y genial posible.

Ara, Vicky, Liz, Ricardo y Víctor.

Gracias a todas esas demás personas que estuvieron
conmigo en este camino.

Índice	Página
Resumen	1
1. Marco de referencia	2
2. Marco teórico	4
2.1. Valor nutritivo del rastrojo de maíz	4
2.1.1. Composición química	4
2.1.1.1. Composición química de la pared celular	4
a) Celulosa	4
b) Hemicelulosa	5
c) Sustancias pécticas	5
d) Lignina	5
2.1.2. Digestibilidad	5
2.2. Valor energético	6
2.3. Tratamiento de pajas y rastrojos	6
2.3.1. Tratamiento físico	6
2.3.2. Tratamiento químico	8
2.3.3. Tratamiento biológico	8
2.4. Factores que afectan el tratamiento químico de pajas y rastrojos	9
2.4.1. Especie y variedad vegetal	9
2.4.2. Procedencia o lugar de origen	10
2.4.3. Procesos o técnicas utilizadas para separar el grano	10
2.4.4. Fracciones botánicas presentes	11
2.4.5. Tipo de sustancia química utilizada en el tratamiento	11
2.4.6. Procedencia de la sustancia química (cenizas de madera)	12
2.4.7. Concentración de la soluciones	12
2.4.8. Técnica para aplicar el tratamiento	12
2.4.9. Temperatura de almacenamiento	13
2.4.10. Tiempo de exposición	13
2.4.11. Humedad	14
2.4.12. Condiciones de anaerobiosis durante el almacenamiento	14
2.4.13. Combinación de otros tratamientos	14

2.5.	Palatabilidad	15
2.5.1.	Principales factores que afectan la palatabilidad	15
2.5.1.1.	Factores ligados al alimento	15
a)	Sabor y olor	15
b)	Forma física y textura	16
c)	Valor nutritivo y contenido energético	17
2.5.1.2.	Factores ligados al animal	17
a)	Especie	17
b)	Diferencia sensoriales entre individuos	18
c)	Estado fisiológico	18
d)	Experiencia	18
2.5.1.3.	Factores ambientales y contexto social	19
3.	Justificación	20
4.	Objetivos	21
4.1.	Objetivo general	21
4.2.	Objetivos particulares	21
5.	Materiales y métodos	22
5.1.	Tiempo máximo de exposición al tratamiento alcalino	22
5.1.1.	Área de estudio	22
5.1.2.	Diseño experimental	22
5.1.3.	Rastrojo de maíz	23
5.1.4.	Tratamientos químicos	23
5.1.5.	Digestibilidad <i>in vitro</i>	24
5.1.6.	Análisis estadístico	24
5.2.	Prueba de palatabilidad	25
5.2.1.	Área de estudio	25
5.2.2.	Diseño experimental	25
5.2.3.	Rastrojo de maíz	25
5.2.4.	Tratamientos químicos	26
5.2.5.	Animales	26
5.2.6.	Prueba de palatabilidad	26
5.2.7.	Índices de palatabilidad	27

5.2.8.	Valor nutritivo	28
5.2.8.1.	Composición química	28
5.2.8.2.	Digestibilidad <i>in vitro</i>	28
5.2.9.	Energía digestible	29
5.2.10.	Análisis estadístico	29
6.	Resultados	30
6.1.	Tiempo máximo de exposición al tratamiento alcalino	30
6.2.	Prueba de palatabilidad	34
7.	Discusión	40
8.	Conclusiones	44
9.	Literatura citada	45

Índice de cuadros

Cuadro	Descripción	Página
6.1	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca del rastrojo de maíz tratado a diferente tiempo de exposición	31
6.2	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica del rastrojo de maíz tratado a diferente tiempo de exposición	32
6.3	Consumo e índices de palatabilidad del rastrojo de maíz tratado con las diferentes sustancias álcalis.	34
6.4	Composición química (en base seca) del rastrojo de maíz utilizado en la prueba de palatabilidad	36
6.5	Fracciones de Van Soest (en base seca) del rastrojo de maíz utilizado en la prueba de palatabilidad	37
6.6	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca, digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica y energía digestible estimada del rastrojo de maíz utilizado en la prueba de palatabilidad	38
6.7	Correlación de los índices de palatabilidad con la composición química, digestibilidad y energía digestible del rastrojo de maíz no tratado y tratado	39

Índice de figuras

Figura	Descripción	Página
2.1	Clasificación de los diferentes métodos que existen para el tratamiento de pajas y rastrojos	7
6.1	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca del rastrojo de maíz tratado a diferente tiempo de exposición	33
6.2	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica del rastrojo de maíz tratado a diferente tiempo de exposición	33
6.3	Consumo del rastrojo de maíz tratado con las diferentes sustancias álcalis.	35
6.4	Índices de palatabilidad del rastrojo de maíz tratado con las diferentes sustancias álcalis.	35

Glosario de abreviaturas

C	Cenizas
Ca(OH) ₂	hidróxido de calcio
cm	Centímetro
DIVMO	Digestibilidad <i>In Vitro</i> de la Materia Orgánica
DIVMS	Digestibilidad <i>In Vitro</i> de la Materia Seca
ED	Energía Digestible
EE	Extracto Etéreo
ELN	Extracto Libre de Nitrógeno
FC	Fibra Cruda
FDA	Fibra Detergente Ácido
FDN	Fibra Detergente Neutro
g	gramos
kg	kilogramos
LAD	Lignina Ácido Detergente
m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar
Mcal	Megacalorías
MO	Materia Orgánica
MS	Materia Seca
NaOH	hidróxido de sodio
PC	Proteína Cruda
Pi	Índice de palatabilidad
PV	Peso Vivo
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca

Resumen

Con objeto de evaluar la palatabilidad en cabras del rastrojo de maíz tratado, el presente estudio se realizó en dos etapas; en la primera etapa se determinó el tiempo máximo de exposición del rastrojo de maíz (RM) al tratamiento alcalino (hidróxido de sodio al 4 %, hidróxido de calcio al 5 %, cenizas de madera al 18 % y urea al 4 %), en el cual se obtuvo el máximo valor de digestibilidad. Con base a los resultados obtenidos, se trató RM y fue sometido a prueba de palatabilidad. Para la prueba de palatabilidad, fueron utilizadas seis cabras criollas primíparas de 28.13 ± 1.44 kg y 17.58 ± 1.31 meses distribuidas mediante un diseño de cuadrado latino en serie 5 x 5. La colección de datos se realizó durante 5 días, durante dos horas se ofreció simultáneamente 300 g de cada RM tratado con las cuatro sustancias álcalis y no tratado, el orden de distribución de los alimentos ofertados fue diferente para evitar comportamiento reflejo. La palatabilidad fue evaluada con base a índices de palatabilidad (P_i). Se evaluó el valor nutritivo del RM no tratado y tratado utilizado en la prueba de palatabilidad, en términos de composición química, digestibilidad y contenido de energía digestible (ED). Los resultados mostraron que el tiempo de exposición en que se alcanzó la mayor digestibilidad para el tratamiento con hidróxido de sodio fue de 7 días, para el tratamiento con hidróxido de calcio fue de 21 días y para los tratamientos con urea y cenizas de madera fue de 28 días. La digestibilidad de la materia seca y materia orgánica fue diferente ($p \leq 0.049$ y $p \leq 0.047$, respectivamente) entre tratamientos; siendo el tratamiento con hidróxido de sodio > urea > hidróxido de calcio > cenizas de madera, respecto al aumento en la digestibilidad encontrado. El tratamiento con urea incrementó significativamente de 3.88 % a 11.65% el contenido de PC ($p = 0.045$). Los tratamientos alcalinos disminuyeron significativamente ($p \leq 0.022$) la concentración de FND y FAD. Respecto a la digestibilidad de la materia seca y materia orgánica, el mayor valor fue para el RM tratado con hidróxido de sodio, de 72.83 % y 62.87%, respectivamente ($p \leq 0.039$) seguido del RM tratado con urea. El contenido de ED estimado fue de 2.25 y 1.48 25 Mcal/ kg para RM tratado con hidróxido de sodio y RM no tratado, como máximo y mínimo. Las cabras mostraron un alto nivel de consumo para el RM tratado con hidróxido de sodio (2.66 g MS/ kg PV), seguido del RM tratado con cenizas de madera (1.96 g MS/ kg PV), el RM tratado con urea fue el menos consumido (0.63 g MS/ kg PV). Se encontraron diferencias ($p \leq 0.022$) entre los índices de palatabilidad calculados para los diferentes alimentos ofertados. El RM tratado con hidróxido de sodio fue el más palatable ($P_i = 2.68$, $p = 0.020$) y el menos palatable para las cabras fue el RM tratado con urea ($P_i = 0.61$, $p = 0.012$).

Palabras clave: palatabilidad, rastrojo de maíz, tratamiento de pajas, digestibilidad.

1. Marco de referencia

Los esquilmos agrícolas también conocidos comúnmente como rastrojos, pajas, zacate y/o pastura; desempeñan un papel importante en los sistemas de alimentación de rumiantes en el país, ya sea en pastoreo directo o suministrado en la dieta del ganado en épocas de escasez de forraje verde (Reyes *et al.*, 2013; Correa, 2008; Ben Salem y Smith, 2007; Macedo, 2000). Las pajas y rastrojos son subproductos derivados de las actividades agrícolas, y se consideran el residuo del cereal recuperable después de la separación del grano, básicamente formado por los tallos, que engloba nudos, entrenudo, hojas y vaina (Shanahan *et al.*, 2010; Joy, 1991).

En México, la mayor producción de rastrojos se obtiene de los cereales y está asociada directamente con la producción de granos (Sánchez *et al.*, 2012). Según la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca (SAGARPA), la producción anual de pajas y rastrojos en México es de 45 millones de toneladas de materia seca (MS), (SIAP, 2014) y se estima que por cada kilogramo de grano producido se obtiene un kilogramo de residuo (Muñoz, 2011; Macedo, 2000).

De todos los residuos de cosecha, el rastrojo de maíz es el que se produce en mayor cantidad en México, aproximadamente 25 millones de toneladas anuales (Reyes *et al.*, 2013), y constituye una fuente importante de alimento para rumiantes, sin embargo, es poco recomendable cuando las necesidades nutricionales de los animales son elevadas (García, 2002). En general, las pajas y rastrojos son ricos en carbohidratos, representando una fuente importante de energía, sin embargo, uno de los principales problemas de estos alimentos es su baja digestibilidad (Martínez *et al.*, 2012). De acuerdo a lo anterior, se han propuesto tratamientos químicos que tienen como objetivo mejorar la calidad y aumentar el consumo voluntario de estos residuos agrícolas (Martínez *et al.*, 2012; Fernández *et al.*, 2009; Kaar y Hotzapple, 2000; Jackson, 1978), enfocados a la degradación del complejo carbohidrato – lignina para facilitar el acceso de los microorganismos celulolíticos a los carbohidratos estructurales para poder incrementar la digestibilidad (Martínez *et al.*, 2012).

Considerando que en las unidades de producción el mayor costo de la producción animal radica en la provisión de alimentos adecuados para su explotación, es necesario tener conocimiento de los diversos factores que afectan el consumo de los alimentos en los animales, uno de ellos, muchas veces subestimado, es la palatabilidad. La palatabilidad es un concepto aparentemente sencillo, pero complejo en su definición (Sola *et al.*, 2012), es determinante del consumo voluntario (Forbes, 1995) y está determinada por las características organolépticas del alimento que influyen sobre la respuesta sensitiva desarrollada por los animales (Atwood *et al.*, 2001). Obviamente la palatabilidad no es una

medida cuantitativa, lo que realmente es crítico para entenderla e interpretarla es el método utilizado para medirla (Forbes, 2010). Para investigar el rol de la palatabilidad, usualmente se usan paneles de animales para discriminar entre alimentos con diferentes propiedades. En el procedimiento usual de la prueba, los animales tienen la libertad de elegir entre dos diferentes alimentos presentados simultáneamente y disponibles por diferentes horas. La cantidad de alimento consumido y la dinámica de consumo durante la prueba son utilizadas como índices de palatabilidad del alimento (Becques *et al.*, 2014; Araujo y Milgram, 2004; Kaitho *et al.*, 1997 Ben Salem *et al.*, 1994). Los índices de palatabilidad se consideran como una medida de selección en términos de biomasa consumida por biomasa ofrecida de un alimento en relación a un alimento estándar en un periodo de tiempo dado (Becques *et al.*, 2014; Araujo y Milgrma, 2004; Ngwa *et al.*, 2003). En términos sencillos se puede decir que el alimento más palatable es generalmente el preferido y así el más comido (Quaranta *et al.*, 2006).

2. Marco teórico

2.1. Valor nutritivo del rastrojo de maíz

En alimentación animal, el término valor nutritivo se emplea para evaluar la calidad de un alimento, se considera que el valor nutritivo contempla como factores: composición química, digestibilidad y el consumo voluntario (Hughes *et al.*, 1965).

El rendimiento, así como el valor nutritivo del rastrojo de maíz depende de diversos factores, como son: el tipo de suelo, el clima, manejo agronómico, disponibilidad de agua, las variedades sembradas, grado de maduración de la planta y fracciones vegetales presentes (Luna, 2010; Souza *et al.*, 2001; Ramírez y Volke, 1999).

2.1.1. Composición química

La composición química es indicativo del contenido de nutrientes de un alimento (Shimada, 2009). El rastrojo de maíz se caracteriza por ser deficiente en proteína cruda; con niveles menores a 60 g / kg de MS, poca cantidad de azúcares solubles (1.3 %) y almidón (0.7 %) y una elevada proporción de fibra cruda que oscila entre el 40 y 60 % del total de MS del alimento. En promedio el rastrojo de maíz contienen un 72% de fibra detergente neutro (FDN) distribuida en un 38 % de celulosa, 25 % de hemicelulosa y 8 % de lignina (FEDNA, 2016).

2.1.1.1. Composición química de la pared celular

La pared celular es un componente estructural típico de las células vegetales y la mayor parte de los componentes de los rastrojos y pajas de cereales, está representado por la pared celular. La clasificación de sus componentes está basada en su fraccionamiento químico (solubilidad en diversos solventes) y en su estructura química (Flores, 2013; Azcon y Talon, 2008).

a) Celulosa

La celulosa es un polímero no ramificado constituido por moléculas de D-glucosa unidas entre sí por enlaces β 1-4 glucosídicos. La celobiosa es la unidad repetitiva en las cadenas de glucosa. Las cadenas son lineales y cada unidad tiene una rotación de 180° con respecto a la anterior y subsiguiente, esta configuración hace que la celulosa sea esencialmente insoluble y extremadamente resiste a la degradación enzimática (Flores, 2013; Azcon y Talon, 2008).

b) Hemicelulosa

Los polisacáridos hemicelulósicos están constituidos por una cadena lineal relativamente larga sobre la que pueden aparecer cadenas laterales cortas. Es una mezcla compleja y heterogénea de un gran número de diferentes polímeros de monosacáridos, que incluye pentosas (como xilosa y arabinosa) y hexosas (como glucosa, manosa y galactosa) (Hendriks y Zeeman, 2009). En la mayoría de las plantas el xiloglucano es el polisacárido no celulósico más abundante (Flores, 2013; Azcon y Talon, 2008). La hemicelulosa es menos resistente a la degradación química con relación a la celulosa, por lo que se define como un polisacárido soluble en álcalis o ácidos diluidos (Flores, 2013).

c) Sustancias pécticas

Entre los polímeros conocidos de mayor complejidad figuran los polisacáridos pécticos o pectinas, constituidos por una mezcla de azúcares ácidos (ácido galacturónico) y neutros (ramnosa). Se caracterizan por su capacidad para formar geles y se considera que su presencia en las paredes celulares determina su porosidad y proporciona superficies cargadas que modulan el pH y el balance iónico (Flores, 2013; Azcon y Talon, 2008).

d) Lignina

La lignina es un polímero fenólico compuesto a partir de alcoholes aromáticos p-cumarílico, coniferílico y sinapílico. La lignina confiere a la pared rigidez y resistencia a la degradación química, se sintetiza al final del crecimiento de la pared celular y se encuentra unida a la celulosa y hemicelulosa por enlaces covalentes que reducen en forma general su digestibilidad (Flores, 2013; Azcon y Talon, 2008).

2.1.2. Digestibilidad

La digestión comprende una serie de procesos en el tracto gastrointestinal, mediante los cuales los alimentos son degradados a partículas más pequeñas y por último solubilizados para que sea posible la absorción. El análisis de la digestibilidad de un alimento determina la proporción de los nutrientes consumidos y absorbidos que pueden ser aprovechados por el animal (Maynard *et al.*, 1981; McDonald *et al.*, 2011). El método más usado es el desarrollado por Tilley y Terry en 1963 y modificado por Minson y McLeod en 1972, el cual requiere una fermentación con fluido ruminal seguido de una digestión péptica durante 48 horas (McDonald *et al.*, 2011).

El rastrojo de maíz se caracteriza por tener un alto contenido de carbohidratos estructurales (más del 80%) y un bajo contenido celular, lo cual representa una fuente importante de energía para rumiantes

(Fahmy y Klopfenstein, 1992). Desde el punto nutricional, la fracción del contenido celular es prácticamente digestible (98 %) y disponible para los organismos ruminales; mientras que la pared celular por su estructura tiene menor grado de digestibilidad acarreado como consecuencia que el rastrojo de maíz posea una digestibilidad menor al 55 % (García, 2002).

2.2. Valor energético

El principal objetivo del alimento es la producción de energía para los procesos metabólicos. Ya que todos los nutrientes orgánicos pueden servir para este propósito, el valor energético provee una base común para expresar su valor nutritivo. Para usos propios del campo de la nutrición, la energía se mide de manera característica en términos del calor que se produce en la oxidación y se expresa como calorías (Maynard *et al.*, 1981). Los animales necesitan energía para el mantenimiento y las distintas producciones y una característica unificadora de estas funciones tan diferentes, consiste en que todas suponen una transferencia de energía (McDonald *et al.*, 2011).

La cantidad de energía que puede ser utilizada por los animales en los procesos metabólicos a partir del consumo de rastrojo de maíz es baja, la cual varía de 1.2 a 2 Mcal / kg y no permite cubrir las necesidades de mantenimiento del animal (McDonald *et al.*, 2011).

2.3. Tratamiento de pajas y rastrojos

Las pajas y rastrojos muestran baja digestibilidad y consumo voluntario por el animal; además de su bajo valor nutritivo. De acuerdo a lo anterior, se han propuesto alternativas que tienen como objetivo mejorar la digestibilidad y el consumo voluntario de estos residuos agrícolas (Fernández *et al.*, 2009; Kaar y Hotzapple, 2000; Jackson, 1978); lo que conlleva a un incremento en el consumo de energía metabolizable por parte de los animales alimentados con pajas y rastrojos tratados. Métodos físicos, químicos y biológicos son utilizados para el tratamiento de pajas y rastrojos (Sun y Cheng, 2002). En este sentido se propone una clasificación de los diferentes métodos de tratamiento de pajas y rastrojos, la cual se muestra en la figura 3.1.

2.3.1. Tratamientos físicos

El tratamiento con vapor o cocción a presión, la peletización, el remojo o humectación y métodos mecánicos como el picado y molido; son los tratamientos físicos más utilizados. La cocción a presión o tratamiento con vapor; incrementa la solubilización de la hemicelulosa, durante este proceso la biomasa es tratada a alta presión y temperaturas de 160-260 °C por algunos segundos o minutos (Hendriks y Zeeman, 2009; Sun y Cheng, 2002).

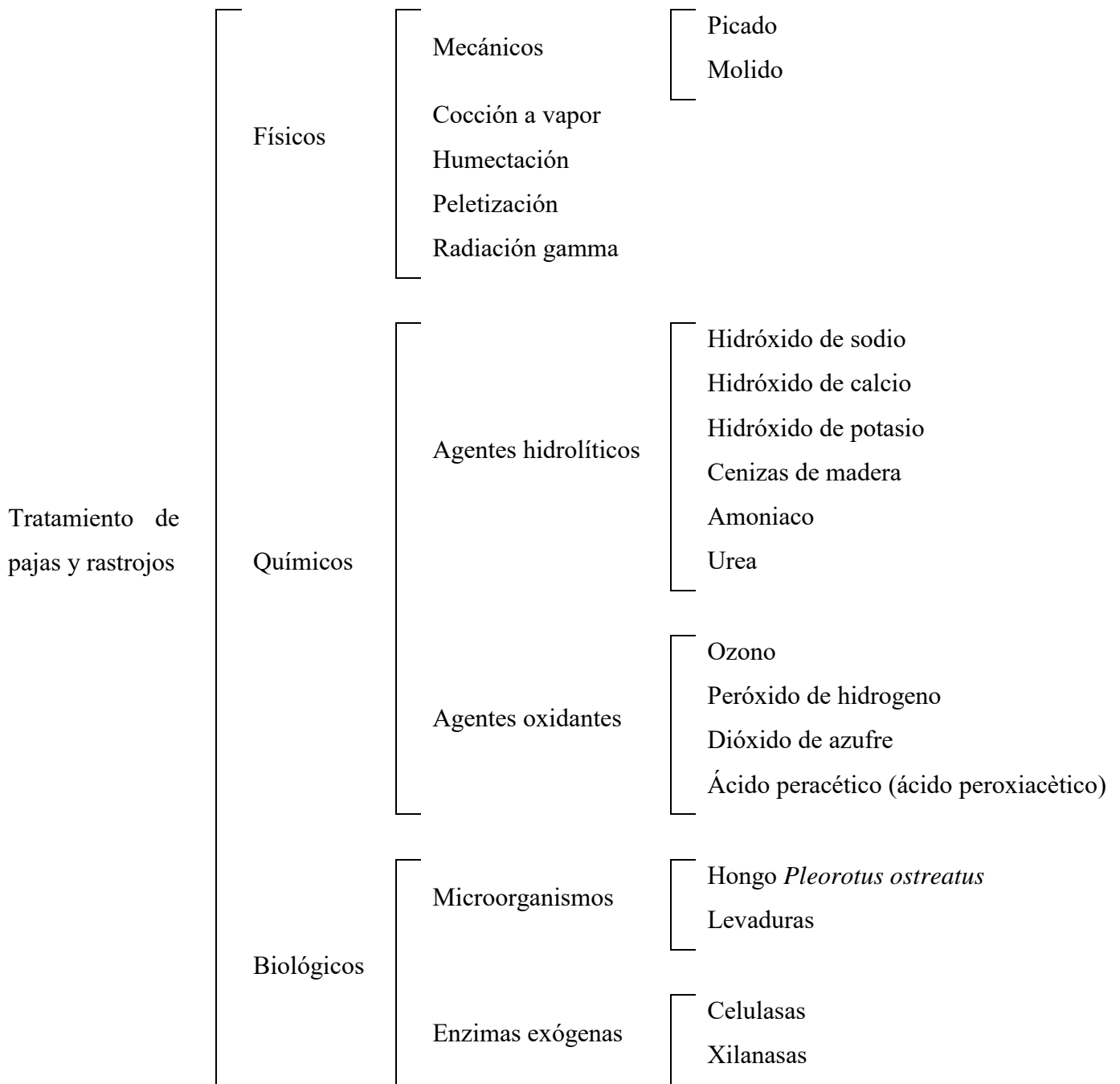


Figura 2.1. Clasificación propuesta de los diferentes métodos que existen para el tratamiento de pajas y rastrojos

La cocción a presión junto con la peletización, tienen como limitante principal en su uso el elevado costo que presentan estos procedimientos (Stehr, 2015). La humectación o remojo del esquilmo disminuye el contenido de polvo y tierra, cambia la textura y facilita su ingesta. En los métodos mecánicos como el molido y picado el objetivo es reducir el tamaño de partícula (entre 10 – 30 mm) de pajas y rastrojos e incrementar el área superficial de contacto disponible (Sun y Cheng, 2002); con el cual se incrementa el consumo voluntario por parte de los animales y se facilita el mezclado con otros ingredientes (González, 2015).

Otra forma de tratamiento físico que se ha sugerido es el uso de rayos gamma que rompe el enlace β 1,4 de la pared celular (Agbor *et al.*, 2011).

2.3.2. Tratamientos químicos

Los tratamientos químicos de los residuos agrícolas para mejorar su utilización en la alimentación de rumiantes han sido investigados desde el siglo XIX y una gran variedad de sustancias y procedimientos han sido evaluados con resultados variados. Existen dos categorías de clasificación de los métodos de tratamiento químico, dependiente del tipo de sustancia utilizada; el primero involucra agentes hidrolíticos, mientras que el segundo es fundamentalmente oxidativo (Jung *et al.*, 1993).

Entre los agentes hidrolíticos más comunes se encuentran: el hidróxido de sodio, otros hidróxidos alcalinos metálicos, amoníaco y urea. Los oxidantes más comunes son el ozono, peróxido de hidrogeno, dióxido de azufre (SO₂) y otros agentes deslignificantes como el ácido peracético (Hon y Shiraishi, 2001; Jung *et al.*, 1993).

Los reactivos utilizados en los tratamientos oxidativos atacan y degradan principalmente la lignina de la pared celular. El ozono y peróxido de hidrogeno actúan rompiendo los enlaces glucosídicos de las paredes celulares. La oxidación con dióxido de azufre da como resultado la solubilización de polisacáridos con reducción de la lignina (Hon y Shiraishi, 2001).

Tratar los residuos con álcalis mejora su valor nutricional (Shreck *et al.*, 2015), el tratamiento alcali provoca una alteración de la capacidad higroscópica de la pared celular, disminuye el grado de polimerización y cristalinidad de la celulosa, solubiliza la hemicelulosa y rompe enlaces entre la lignina y las demás fracciones de carbohidratos en la biomasa lignocelulósica (Galbe y Zacchi, 2007; Mosier *et al.*, 2005), aumentando así la digestibilidad de los residuos lignocelulósicos (Fernández *et al.*, 2009; Kaar y Hotzapple, 2000; Klopfenstein, 1980).

2.3.3. Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos o enzimáticos se basan en la utilización de microorganismos (*Pleorotus ostreatus* y levaduras) o enzimas fibrolíticas exógenas (celulasas y xilanasas) capaces de degradar los componentes de la pared celular. En este método se emplean principalmente hongos de la pudrición blanca (*Pleorotus ostreatus*), los cuales solubilizan los enlaces de lignina y mejoran la digestibilidad de los componentes de la pared celular de los tejidos vegetales (González, 2015). Las enzimas aplicadas a los forrajes antes de una incubación *in vitro* mejoran la digestión de la materia seca y fibra detergente

neutro, sugiriendo que la adición directa de estas al alimento pueden mejorar la utilización del forraje seco (Yescas *et al.*, 2004).

2.4. Factores que afectan el tratamiento químico de pajas y rastrojos

La magnitud de la eficacia de los diferentes métodos de tratamiento químico varía en función de diversos factores, dependientes directamente del residuo de cosecha a tratar, técnicas operacionales y/o condiciones de almacenamiento del material tratado (Jackson, 1978).

Para evaluar la eficacia de cualquier método de tratamiento químico de pajas y rastrojos, la diferencia entre la digestibilidad del material no tratado y tratado debe ser determinada (Jackson, 1978).

A continuación, se enlistan y son descritos los principales factores que afectan la eficacia de los tratamientos químicos de pajas y rastrojos.

- Especie y variedad vegetal
- Procedencia o lugar de origen
- Procesos o técnicas utilizadas para separar el grano
- Fracciones botánicas presentes
- Tipo de sustancia química utilizada en el tratamiento químico
- Procedencia de la sustancia química (cenizas de madera)
- Cantidad o concentración de la solución
- Técnica para aplicar el tratamiento
- Temperatura de almacenamiento
- Tiempo de exposición
- Humedad del material a tratar
- Condiciones de anaerobiosis durante el almacenamiento
- Combinación de otros métodos de tratamiento

2.4.1. Especie y variedad vegetal

Las diferencias químicas y nutricionales entre los diferentes tipos de rastrojos y pajas de las especies de cereales cultivables han sido reportadas por diferentes autores. La calidad inicial del material a tratar, tendrá efecto directo en los resultados obtenidos después del tratamiento químico aplicado. La paja de arroz, a diferencia de lo que ocurre en pajas de otros cereales, presenta la particularidad de que su tallo es más digerible que las hojas. El maíz y el sorgo producen como residuos tallos más grandes y

lignificados (Suttie, 2003). La paja de avena y cebada son las pajas con mayor valor nutritivo y palatables en comparación a las demás (Shanahan *et al.*, 2010; Suttie, 2003).

Muñoz *et al.* (2013), evaluaron la producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en los valles altos de Puebla y Tlaxcala, México, colectaron semillas en las regiones Libres- Mazapiltepec - Huamantla y Serdán- Tlachichuca- Guadalupe Victoria. Para cada región evaluaron 144 variedades, incluyendo cuatro testigos comerciales, midieron el rendimiento de rastrojo, producción de hoja y tallo, altura de planta y de mazorca, días a floración femenina, y rendimiento de grano. En cada región se encontró una diversidad amplia para rendimiento de rastrojo y grano que fue desde bajo hasta alto rendimiento. Se detectaron algunas variedades locales que para ambas características fueron sobresalientes. Los testigos comerciales ensayados tuvieron menores rendimientos de grano y rastrojo que las variedades locales sobresalientes.

2.4.2. Procedencia o lugar de origen

Las diferentes zonas climáticas presentes en un país influyen directamente sobre la composición química del suelo, cantidad de precipitación pluvial anual, cantidad de radiación solar, humedad relativa y tipo de vegetación, lo cual acarrea como consecuencia diferencias en la composición química y nutricional de pajas y rastrojos dependientes de la región o zona climática de donde fue obtenido (Hughes *et al.*, 1965).

Por ejemplo, Sudana (1987) estudió la diferencia en la eficacia del tratamiento químico con solución de cenizas de madera al 0, 6, 12 y 18 % sobre pajas de arroz provenientes de diferentes zonas de riego (diferente disponibilidad de agua durante el crecimiento) y altitudes; los resultados de su estudio indicaron que el tratamiento con cenizas de madera a diferentes concentraciones incrementa la calidad nutricional de la paja, reportó un aumento de 7 a 14 unidades porcentuales en la digestibilidad de materia seca para la paja de arroz de la región con riego abundante y de latitudes bajas, en comparación al 1 – 8% en la paja con escasez de riego y de altitud elevada.

2.4.3. Procesos y técnicas utilizadas para separar el grano

Los cereales eran recolectados tradicionalmente mediante siega manual con hoz, método que aún sigue vigente en campos pequeños, en la actualidad la utilización de maquinaria especializada disminuye el tiempo y aumenta la eficiencia de la recolecta. El método de recolección así como el manejo después de la cosecha del forraje seco repercuten sobre la calidad inicial de las pajas y rastrojos que serán sometidos a tratamiento. La etapa de maduración vegetal al corte, la altura de corte, cantidad de

residuos de grano, ruptura de fracciones vegetales durante el empaquetado, transporte y almacenamiento son aspectos a considerar al aplicar algún método de tratamiento. La contaminación de la paja principalmente por tierra eleva el contenido de materia inorgánica (Staniforth, 1986; Jackson, 1978).

2.4.4. Fracciones botánicas presentes

Las pajas y rastrojos son un material heterogéneo formado por hojas, nudos, entrenudos, tallos y restos de espigas. Estas fracciones se encuentran en distintas proporciones, y además, presentan características estructurales químicas y nutricionales diferentes entre ellas (Jung *et al.*, 1993); influyendo directamente en las características químicas y nutricionales de los esquilmos. La proporción de las diferentes fracciones varía según el cultivo y el nivel de rendimiento (Suttie, 2003). La hoja es la fracción más pobre en constituyentes de la pared celular (Jung *et al.*, 1993), por lo tanto es más digestible; el tallo, dependiendo el grado de madurez de la planta varía el grado de lignificación (Staniforth, 1986) y por ende aumenta su resistencia a la degradación.

2.4.5. Tipo de sustancia química utilizada en el tratamiento químico

Numerosos métodos de tratamiento químico se han desarrollado desde el siglo pasado y junto a ello una variedad de sustancias han sido evaluadas con diferentes resultados.

Existen dos categorías de clasificación para las sustancias químicas utilizadas; el primero involucra agentes hidrolíticos, mientras que el segundo es fundamentalmente oxidativo (Jung *et al.*, 1993). Los agentes hidrolíticos más comunes involucran compuestos alcalinos como: el hidróxido de sodio, otros hidróxidos alcalinos metálicos, amoníaco y urea. Los oxidantes más comunes son el ozono, peróxido de hidrogeno, dióxido de azufre (SO₂) y otros agentes deslignificantes como el ácido peracético (Hon y Shiraishi, 2001; Jung *et al.*, 1993).

Los agentes hidrolíticos son principalmente compuestos alcalinos y se emplean rutinariamente para efectuar un tratamiento químicos hidrolítico de pajas y rastrojos: el hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de calcio [Ca(OH)₂], amoníaco (NH₃), urea y cenizas de madera. El tratamiento álcali disminuye el grado de polimerización y cristalinidad de la celulosa, solubiliza la hemicelulosa (Jung *et al.*, 1993), rompe enlaces entre la lignina y las demás fracciones de carbohidratos en la biomasa lignocelulósica aumentando la digestibilidad (Galbe y Zacchi, 2007; Mosier *et al.*, 2005).

2.4.6. Procedencia de la sustancia química (cenizas de madera)

En países en vías de desarrollo, una opción económica, segura y de fácil obtención son las cenizas de madera como sustancia álcali. Las cenizas de madera presentan contenidos importantes de diferentes nutrimentos como K, P, Mg y Ca, los cuales se encuentran en formas relativamente solubles (Solla *et al.*, 2001). Algunos de estos elementos se encuentran como óxidos, hidróxidos y carbonatos, por lo que el material presenta un fuerte carácter alcalino (Solla *et al.*, 2001; Etiégni y Campbell, 1991). Existe una alta variación en la composición química de las cenizas de madera; la cual es dependiente de la especie arbórea y porción anatómica utilizada para su obtención, localización geográfica, época del año, entre algunos otros factores (Melissari, 2012; Nolte *et al.*, 1987). Lo cual acarrea como consecuencia una variación en la solubilidad y formación de compuestos álcalis dentro de la solución y por ende una diferente eficacia del tratamiento químico con cenizas de madera.

2.4.7. Concentración de la soluciones

En general, una dosis de 4 - 6 % de urea puede ser considerada suficiente para obtener un aumento en la digestión de la materia seca y reducción de la fibra detergente neutro, comparado con rastrojo de maíz no tratado, cuando se realiza a 30 -50 % de humedad. (Martínez *et al.*, 2012; Ramírez *et al.*, 2007; Souza, 2001; Joy *et al.*, 1992).

Shreck *et al.* (2015) encontraron un aumento en la digestibilidad de la materia seca de 66.2 a 74.7 %, 63.2 a 74.5 % de la paja de avena y rastrojo de maíz, respectivamente, tratados con una solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 5 %, en un ambiente anaerobio.

Los resultados obtenidos por Sudana (1987), sugieren que la eficacia del tratamiento de la paja de arroz incrementa en relación al aumento en la concentración de la solución de cenizas, observó al asperjar soluciones de 0, 6, 12 y 18 % y almacenar el material a tratar durante 4 semanas; el aumento de 31. 8 a 39.0, 43.4 y 46.3, respectivamente, en la digestibilidad de la materia seca en la paja de arroz.

2.4.8. Técnica para aplicar el tratamiento

Los métodos utilizados para el tratamiento de las pajas y rastrojos son clasificados en físicos, químicos y biológicos y las técnicas utilizadas para aplicar un tratamiento químico según Jackson (1978) son clasificadas en técnicas en húmedo y en seco.

Las técnicas en húmedo implican principalmente el remojo de la paja en 10 litros de solución química por kilogramo de paja. En las técnicas en seco, la paja es asperjada con cantidades de 0.1 – 1 litro de

solución química por kilogramo de paja seca o expuesta a vapor de amoníaco, la técnica en húmedo emplea grandes cantidades de solución química en comparación con las secas (Jackson, 1987). Considerando lo mencionado anteriormente, se recomienda utilizar las técnicas en seco o de asperjado en zonas geográficas cálidas o con precipitaciones pluviales bajas.

2.4.9. Temperatura de almacenamiento

Existe una relación estrecha entre la temperatura, el tiempo de exposición y la humedad, sobre la eficacia del tratamiento químico. Según Gandhi *et al.* (1997) y Nagwani (1992), el tiempo de exposición y la temperatura son los factores más importantes que modifican la efectividad de un tratamiento, a bajas temperaturas se requiere un tiempo largo de exposición del material a la sustancia química en cuestión, altas temperaturas acortan el tiempo de exposición y son más efectivos, en comparación a los primeros. La aplicación de temperatura incrementa la eficacia del tratamiento químico, pero también aumenta el costo del tratamiento.

El efecto beneficioso de la temperatura, con niveles altos de humedad (30 - 40 %), también ha sido reportado, Souza *et al.* (2001) encontró una solubilización parcial de la hemicelulosa y un aumento de proteína cruda de la paja de cebada tratada con urea al 6 % a una temperatura de 35 °C. El aumento de la digestibilidad del bagazo de agave tratado con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 10 % a 50 °C, y con 80 % de humedad y un tiempo de reacción de 24 horas fue descrito por Ramírez *et al.* (2012).

Ololade *et al.* (1970), encontró que el efecto sobre la digestibilidad *in vitro* de la materia seca de la paja de cebada y rastrojo de maíz tratados con NaOH a 100°C durante 90 minutos, es mayor por 10 unidades porcentuales comparado con el tratamiento de NaOH a 23 °C por 24 horas de la paja de cebada y rastrojo de maíz.

2.4.10. Tiempo de exposición

Se entiende por tiempo de exposición a la cantidad de tiempo en horas y/o días en el cual el material a tratar se encuentra en contacto con la sustancia química utilizada. El tiempo ideal para alcanzar la mayor efectividad del tratamiento químico varía en función a la temperatura (Wang *et al.*, 2008; Gandhi *et al.*, 1997; Joy, 1991; Ololade *et al.*, 1970), tipo (Wang *et al.*, 2008; Bourguetts, 1998; Haddad *et al.*, 1995; Jackson, 1978) y cantidad de álcali utilizado (Lázaro, 2012; Ramírez *et al.*, 2012; Sirohi y Rai, 1998; Joy, 1991).

2.4.11. Humedad

El contenido de humedad del material influye en el efecto del tratamiento químico. La variación de dicho contenido puede ser parcialmente responsable de la variación de los resultados del tratamiento, pudiendo no registrarse ningún efecto cuando el tratamiento se realiza sobre un material con escasa humedad (menor al 20 %) o por el contrario, mientras se alcanzan porcentajes de humedad elevadas (mayores al 40%) el efecto no es tan notorio y en ocasiones se registran problemas durante el almacenamiento y manejo del material (Joy, 1991).

Diversos autores observaron un efecto positivo del tratamiento al aumentar el contenido de humedad del material a tratar (Souza *et al.*, 2001; Gandi *et al.*, 1997; Joy, 1991) al alcanzar una humedad entre el 30– 40 %.

El tratamiento con urea es más dependiente del contenido de humedad en comparación a los demás tratamientos químicos, ya que para la liberación de amoníaco a partir de urea (ureólisis) es necesaria la presencia de agua (Joy, 1991).

2.4.12. Condiciones de anaerobiosis durante el almacenamiento

La ausencia de oxígeno inhibirá el crecimiento de hongos, y por lo tanto, se reduce el riesgo de descomposición de la paja y/o rastrojo durante el tiempo de exposición a la sustancia álcali. Los resultados del estudio realizados por Shreck *et al.*, (2015) sugieren un aumento en la degradabilidad de la materia seca de 66.2 a 74.7 %, 63.2 a 74.5 % de la paja de avena y rastrojo de maíz tratados, respectivamente, con una solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 5 %, en un ambiente anaerobio.

2.4.13. Combinación con otros tratamientos

Es importante subrayar que no existe un tratamiento ideal o aquel que por sí solo sea capaz de mejorar en su totalidad la composición química, la digestibilidad y/o características organolépticas de pajas y rastrojos. Desde el punto de vista técnico el efecto de los tratamientos se potencializa si existe la combinación de métodos físicos, químicos y biológicos.

Fuentes *et al.* (2001) evaluó el efecto del tratamiento físico y químico en la composición químicas del rastrojo de maíz sometido a dichos tratamientos. El rastrojo de maíz molido (criba de 2.5 cm), picado (cortes de 10 cm) y entero, fue sometido a tratamiento químico con 4% de amoníaco anhidro por cuatro semanas, a temperatura ambiente (14.8 °C). El autor reportó un incremento en el porcentaje de digestibilidad *in vitro* y proteína cruda en el rastrojo que fue sometido a ambos tratamientos respecto al rastrojo sin tratar y entero.

Villegas *et al.* (2010) evaluó los cambios en la calidad nutritiva asociados a la producción de enzimas fibrolíticas por *Pleurotus sapidus* y *Trametes sp. EUM1*, en paja de sorgo tratada con hidróxido de calcio al 5 %) y encontró cambios significativos por efecto del tratamiento alcalino y biológico en la concentración de hemicelulosa, celulosa y lignina pero no en la cantidad de proteína total de la paja de sorgo. Grabber (2005) y Villegas *et al.* (2010) mencionan que la mayor cantidad de actividad enzimática en el sustrato tratado con hidróxido de calcio se relaciona con una mayor accesibilidad de la superficie vegetal al ataque del hongo y un cambio químico en la estructura de las uniones de los carbohidratos estructurales a la lignina.

2.5. Palatabilidad

La palatabilidad se puede definir como la “condición o conjunto de características de un alimento que provocan o inducen una respuesta sensorial en el animal (Baumont, 1996) que estimula una respuesta selectiva, de preferencia o rechazo hacia los alimentos (Quaranta *et al.*, 2006; Ngwa *et al.*, 2003)”. La palatabilidad es determinada por el sabor (Atwood *et al.*, 2001), el olor, la apariencia, temperatura y textura (Kaitho *et al.*, 1997) del alimento; sin embargo, no puede ser considerada solamente como una cualidad del alimento, sino que también depende de la experiencia (Atwood *et al.*, 2001; Ngwa *et al.*, 2003) y estatus metabólico del animal en cuestión (Forbes, 1995). Para Matthews (1983) la palatabilidad de un alimento puede ser intercambiable con la preferencia por el mismo.

2.5.1. Principales factores que afectan la palatabilidad

Para ser consumido, un alimento debe ser primeramente reconocido como comestible. La palatabilidad de un alimento no solo depende de las propiedades organolépticas del mismo, sino también de la experiencia del animal en cuestión, su estado fisiológico, las condiciones ambientales y el contexto social (Sola *et al.*, 2012). La selección de un alimento por el animal depende de la palatabilidad, esta última, a su vez, es un fenómeno complejo determinado por factores del animal, del alimento y ambientales (Osuga *et al.*, 2008).

2.5.1.1. Factores ligados al alimento

a) Sabor y olor

El sabor y olor son considerados los más importantes estímulos y según Personius (1987), los herbívoros son capaces de detectar componentes tóxicos mediante el olfato antes de consumir o inmediatamente después del primer bocado. El sabor del alimento puede representar el vínculo entre palatabilidad y preferencia haciendo a los animales capaces de elegir entre diferentes alimentos. En

pequeños ensayos, el alimento más palatable es generalmente el preferido y así el más comido (Quaranta *et al.*, 2006).

La diferencia entre alimentos altamente palatables y menos palatables puede ser asociada a algunos compuestos volátiles específicos presentes en el alimento. Rapisarda *et al* (2012), evaluaron el perfil aromático y la palatabilidad de alimentos comúnmente utilizados en la alimentación de rumiantes. La palatabilidad de catorce alimentos comúnmente utilizados en la elaboración de mezclas concentradas o pellets para rumiantes fue evaluada durante 14 días, dos ensayos de palatabilidad fueron puestos en marcha simultáneamente con los mismos alimentos. Catorce corderos hembra raza Sarda y catorce ovejas múltiparas raza Sarda fueron utilizadas en este experimento. El rango de consumo en corderos hembra de los diferentes alimentos fue de 0 mg / kg a 1379 mg / kg de peso. En contraste, las ovejas, mostraron preferencias con un alto nivel de consumo (1267 mg/ kg PV) durante los 6 minutos del ensayo de palatabilidad para bagazo de remolacha, granos de trigo, cacahuete y granos de maíz comparado con los demás alimento. El perfil aromático fue determinado mediante análisis electrónico olfativo, cromatografía en gas – olfatometría, y espectrometría de masas, y los compuestos identificados y cantidad total de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) fueron asociados con la palatabilidad de los alimentos. El perfil aromático del bagazo de remolacha, el cual fue el alimento más consumido por las ovejas y en menor cantidad por los corderos hembra, fue caracterizado con un aroma agradable frutal por su alto contenido de aldehídos (11 VOCs) y pobre en componentes sulfurados (2 VOCs). La alfalfa deshidratada y harina de girasol, las cuales fueron comúnmente rechazadas, mostraron un alto contenido de componentes sulfurados (5 VOCs), los cuales probablemente afectan su palatabilidad. Los resultados obtenidos sugieren que los alimentos difieren en su perfil aromático, tanto en número total de compuestos orgánicos volátiles así como también en la clase química del compuesto volátil presente y que el aroma afecta la palatabilidad y la respuesta selectiva del animal.

b) Forma física y textura

Algunos alimentos por su forma física y textura son “más fáciles” o “más difíciles” de aprensar e ingerir, y esto puede afectar la selección del animal (Morand, 2003), al involucrar “más trabajo” para consumir un alimento (Forbes, 2010; Yo *et al.*, 1997). Por ejemplo, Yo *et al.* (1997), al ofrecer a pollos Broiler de dos semanas de edad, granos enteros de maíz, maíz quebrado y maíz molido junto a un concentrado proteico (43.7 % PC), observo que la proporción de granos enteros de maíz y de concentrado proteico consumida en la dieta seleccionada fue significativamente alta en comparación con el maíz quebrado o maíz molido. Los resultados encontraron que las aves pueden consumir más

rápidamente el grano entero de maíz, y que encontraron mayor dificultad para aprensar y comer el maíz quebrado y molido.

Los rumiantes en lactación tienen predilección por tamaños de partícula pequeños del alimento (Miller-Cushom y DeVries; 2009; Leonardi y Armentano, 2003) pero en determinadas circunstancias, como para atenuar una reducción de pH, se puede incrementar el consumo del tamaño de partícula mayor del forraje (DeVries *et al.*, 2008). Generalmente, las cabras prefieren alimentos secos en forma de pellet que alimentos en harina (Morand, 2003). Otras características físicas del forraje como el contenido de materia seca, tamaño de partícula y resistencia a la fractura afectan la aprensión y consumo (Baumont *et al.*, 2000).

c) Valor nutritivo y contenido energético

La composición química y disponibilidad de una dieta son factores influyentes sobre la preferencia y el consumo voluntario. Aunque el mayor parámetro de un alimento que determina la cantidad de ingesta es la concentración de energía disponible (Forbes, 2010; Forbes, 1995). Los rumiantes generalmente desarrollan preferencias por alimentos que les proveen un rápido nivel de saciedad (Baumont, 1996). Miller-Cushom *et al.* (2014) menciona que terneros tienen preferencias por alimentos altos en proteína y energía. En el trabajo realizado por Keskin *et al.* (2004) encontraron que los borregos son capaces de elegir su ingesta de alimento en sistemas de alimentación de libre elección (cafetería), de acuerdo a su composición química para cubrir sus necesidades de energía y proteína.

3.4.1.2. Factores ligados al animal

a) Especie

Las funciones de quimiorrepción periférica difieren entre las diferentes especies y actúan como sistemas de decodificación que permite interpretar entre otros estímulos aquellos que son más relevantes al valor nutritivo de los alimentos (Ginane *et al.*, 2011).

En primer lugar, no debemos olvidar la gran capacidad sensorial olfativa tanto de rumiantes como del porcino, el perro y otros mamíferos no primates, si bien la capacidad olfativa es superior en el cerdo, los rumiantes tienen la capacidad gustativa incluso superior al porcino mayoritariamente atribuido a la necesidad de detectar compuestos tóxicos asociados a los forrajes. La mayoría de mamíferos comparten muchas similitudes en cuanto a la naturaleza y los mecanismos de acción que regulan la identificación de los cinco sabores primarios (dulce, amargo, ácido, salado y umami), algunos autores han descrito claras preferencias por aromas o sabores dulces en bovinos, en cambio esta misma preferencias no

parece tan evidente en ovinos y cabras. (Ginane *et al.*, 2011). También cabe destacar una gran preferencia innata por sabores dulces y el umami en cerdos (Sola *et al.*, 2012).

b) Diferencias sensoriales entre individuos

Algunas investigaciones sugieren que las diferencias en preferencia de los alimentos puede ser reflejo de las diferencias sensitivas entre individuos, por ejemplo, Provenza *et al* (1996), cuando ofrecieron a corderos tres dietas con diferencia en cantidad de cebada, alfalfa, harina de soya y pulpa de uva, tal que las mezclas fueran diferentes en concentración de macronutrientes; de 24 animales en este estudio, 12 corderos prefirieron alta > media > baja concentración de macronutrientes, 3 corderos prefirieron alta > baja > media, otros 6 individuos mostraron preferencia a media > alta > baja, y 3, prefirieron baja = media > alta. Así también, Atwood *et al.* (2001), encontraron que las terneras difieren en la preferencia individual de paja tratada con amonio y no tratada, ambas con sabores maple y coco. Variaciones similares ocurrieron en el estudio desarrollado por Scott y Provenza (1999), en donde algunos individuos prefirieron una dieta de 6 % de alfalfa y 94 % de cebada, mientras que otros prefirieron una dieta de 70 % de alfalfa y 30 % de cebada.

c) Estado fisiológico

Diferencias en la preferencia de alimentos puede ser reflejo de las diferentes necesidades nutricionales causadas por diferencias tanto fisiológicas como morfológicas de los animales. Animales en diferentes estados fisiológicos (ejemplo: mantenimiento, crecimiento, reproducción o lactación) tienen diferentes requerimiento nutricionales (Forbes, 2010; Scott y Provenza, 1999).

d) Experiencia

La palatabilidad es dinámica y depende del sabor y calidad nutricional del alimento así también de la experiencia reciente del animal con el alimento (Atwood *et al.*, 2001). La reacción de rechazo frente algo nuevo o neofobia, puede afectar directamente a la medida de palatabilidad y el consumo general. Los sabores o aromas que el animal explora e ingiere por primera vez son identificados como un desafío, o una incertidumbre hacia sus consecuencias, y el animal puede reaccionar con neofobia (temor a lo nuevo). Progresivamente, la neofobia desaparece en la medida que el animal consume pequeñas cantidades de alimento y asocia sus claves sensoriales (aroma, sabor, textura, etc.) con sus consecuencias creando en el animal preferencias o aversiones condicionadas (Provenza, 1996) que perduran en el tiempo. Este aprendizaje asociativo puede aumentar la palatabilidad e incluso la apetencia de las claves asociadas (Sola *et al.*, 2012).

3.4.1.3. Factores ambientales y contexto social

Los mamíferos, son capaces de conocer que alimentos escoger y consumir mediante preferencias establecidas a través del aprendizaje materno (Clouard *et al.*, 2012) que se establece durante la gestación y/o lactación, ya sea por ensayo y error o experiencia directa individual con un determinado alimento y sus consecuencias, o a través del aprendizaje social que adquieren con el contacto directo o indirecto con otros animales (Clouard *et al.*, 2012; Sola *et al.*, 2012; Scott *et al.*, 1996).

Scott *et al* (1996) sugieren que los factores sociales pueden anular preferencias alimenticias en un ambiente nuevo, pero las preferencias pueden ser más influyentes en la selección de la dieta en un ambiente familiar.

3. Justificación

El rastrojo de maíz constituye una fuente importante de alimento en los sistemas de producción de rumiantes, y debido al incremento de los precios de los cereales y demás insumos, se hace necesario proponer métodos o alternativas para mejorar su aprovechamiento. Los tratamientos químicos tienen como objetivo mejorar la calidad nutricional y aumentar el consumo voluntario de los residuos agrícolas, y dado que sabemos que para ser consumido, un alimento debe ser primeramente reconocido como comestible, y así mismo que la palatabilidad de un alimento o dieta puede afectar la regulación del consumo voluntario, y esto último, a su vez, es determinado por las características organolépticas y el valor nutritivo del alimento, que influyen sobre la respuesta sensitiva desarrollada por los animales y sobre el consumo (Atwood *et al.*, 2001), es recomendable, además de conocer las características físico-químicas del rastrojo de maíz tratado; conocer su palatabilidad. La palatabilidad evaluada en términos de consumo, provee información de la aceptación inicial del animal al consumir un “nuevo” alimento. Este conocimiento ofrece la oportunidad para que el sector ganadero pueda ofrecer a los animales, alimentos que, además de poseer un adecuado valor nutritivo, sean aceptados y consumidos, y se refleje en un incremento de la producción ganadera mexicana.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

- Evaluar la palatabilidad del rastrojo de maíz sometido a diferentes tratamientos alcalinos en cabras.

4.2. Objetivos particulares

- Determinar el tiempo máximo de exposición del rastrojo de maíz al tratamiento alcalino, en el cual se alcance la mayor digestibilidad.
- Evaluar el valor nutritivo del rastrojo de maíz tratado utilizado en la prueba de palatabilidad, en términos de composición química y digestibilidad
- Estimar la energía digestible del rastrojo de maíz tratado utilizado en la prueba de palatabilidad
- Determinar la correlación de los índices de palatabilidad con la composición química, digestibilidad y energía digestible del rastrojo de maíz tratado.

5. Materiales y métodos

El estudio se realizó en dos etapas; en la primera etapa se determinó el tiempo máximo de exposición del rastrojo de maíz al tratamiento alcalino. En la segunda etapa, se evaluó la palatabilidad en cabras del rastrojo de maíz tratado.

5.1. Tiempo máximo de exposición al tratamiento alcalino

5.1.1. Área de estudio

Esta etapa experimental se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Bromatología, de la Licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM; la cual está localizada a 19° 41' de latitud norte, 99° 11' de longitud oeste y 2450 m.s.n.m. El tipo de clima predominante es clima templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación promedio anual de 1141.7 mm y una temperatura media de 15.5°C (CONAGUA, 2015).

5.1.2. Diseño experimental

Para determinar el tiempo máximo de exposición del rastrojo de maíz al tratamiento alcalino, en el cual se alcance la mayor digestibilidad, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4 x 9. El primer factor estudiado fueron los cuatro tratamientos químicos alcalinos (NaOH al 4 %, Ca(OH)₂ al 5 %, cenizas de madera al 18 % y urea al 4 %) y el segundo factor, los tiempos de exposición (0, 1, 2, 7, 14, 21, 28, 35 y 42 días).

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = variable de respuesta en la repetición k -ésima, con el i -ésimo nivel del tratamiento alcalino, el j -ésimo nivel del tiempo de exposición

μ = es el efecto promedio global

τ_i = es el efecto del nivel i -ésimo del tratamiento alcalino

β_j = es el efecto del nivel j -ésimo del tiempo de exposición

$(\tau\beta)_{ij}$ = es el efecto de la interacción entre tratamiento alcalino y tiempo de exposición

ϵ_{ijk} = componente del error aleatorio

5.1.3. Rastrojo de maíz

Pacas de rastrojo de maíz fueron obtenidas de tiendas comercializadoras de forraje ubicadas en las localidades de El Rosario, Santa María Tianguistenco y San José Huilango del municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. El rastrojo de maíz se molió en una picadora de forraje PD6 Compact 0305 BOMER[®] 6.5 HP con criba de ½ de pulgada para conseguir tamaños de partícula promedio de 1.5 cm. Posteriormente se mezcló, con objeto de obtener una muestra representativa del valor nutritivo del rastrojo de maíz colectado en la región, después fue empacado en costales y almacenado para su posterior utilización.

5.1.4. Tratamientos químicos

El rastrojo de maíz fue sometido a cuatro tratamientos químicos alcalinos: 1) NaOH al 4 % (Bourguetts, 1998), 2) Ca(OH)₂ al 5 % (Sirohi *et al.*, 1998), 3) cenizas de madera al 18 % (Sudana, 1987) y 4) urea al 4 % (Martínez *et al.*, 2012; Muñoz *et al.*, 1991).

Cuatro diferentes sustancias álcalis fueron utilizadas para los tratamientos químicos de rastrojo de maíz. Urea perlada (Inquifer[®] S.A. de C.V., México), escamas de hidróxido de sodio grado técnico (Reactivos Química Meyer[®] S.A. de C.V., México), cal (Piracal[®] de Grupo Calidra S.A. de C.V., México) y cenizas de madera obtenidas de la comunidad de Tecuescontitlán, municipio de Tepecoacuilco de Trujano, Guerrero, provenientes de árboles de la región (huizache, guamúchil, cubata, etc.).

La relación ml de agua / g de rastrojo de maíz, en los diferentes tratamientos químicos fue 1:1 (1 litro de agua / 1 kg de rastrojo de maíz), para incrementar el contenido de humedad a 35 %. De acuerdo a lo anterior, se prepararon 80 litros de cada una de las soluciones alcalinas. Para ello, 3.2 kg de escamas de hidróxido de sodio fueron disueltos en 80 litros de agua; 4 kg de cal fueron disueltos en 80 litros de agua, durante 24 horas la solución de cal (hidróxido de sodio) se dejó en reposo. Las cenizas de madera fueron cribadas (malla de 0.25 cm) para eliminar residuos de carbón existentes, se pesaron 14.4 kg de cenizas de madera y fueron disueltas en 80 litros de agua, durante un periodo de 72 horas la solución se dejó en reposo y agitada durante 15 minutos cada 24 horas. La solución fue filtrada con dos capas de tela manta de cielo. Las soluciones alcalinas de urea, hidróxido de sodio y cenizas de madera fueron colocadas cada una dentro de una aspersora manual de mochila, la solución de hidróxido de calcio fue colocada dentro de una regadera de jardinería.

Para cada uno de los diferentes tratamientos químicos se utilizaron 80 kg de rastrojo de maíz. El procedimiento general realizado para la preparación de los tratamientos químicos alcalinos con las diferentes soluciones fue el siguiente: se colocó una capa de rastrojo de maíz de aproximadamente 10 cm de espesor, la solución fue asperjada sobre el material a tratar evitando que partículas de rastrojo de maíz quedaran sin humedecer, después fue colocada una segunda capa de rastrojo de maíz y nuevamente asperjada. El procedimiento fue realizado hasta haber terminado de humedecer todo el rastrojo de maíz con la solución alcalina correspondiente.

Después de realizar la preparación de los diferentes tratamientos, para cada tiempo de exposición se tomaron por tratamiento 2 kg del rastrojo de maíz, que fueron depositados dentro de bolsas negras de polietileno (60 x 30 cm) previamente identificadas, el aire fue eliminado por compresión para proveer un ambiente anaerobio, posteriormente selladas y almacenadas a temperatura ambiente (24 – 26°C), libre de humedad y sin exposición a luz solar. Cada bolsa de polietileno fue considerada una unidad experimental.

Transcurridos los diferentes tiempos de exposición, por tratamiento, se abrieron las unidades correspondientes y por el método de diagonales se tomaron sub- muestras, para hacer una muestra compuesta de 300 g para su posterior utilización en la prueba de digestibilidad *in vitro*. Las muestras de rastrojo de maíz tratado obtenidas se secaron por efecto de calor solar durante 48 horas y almacenado en bolsas de polietileno en bodega para su posterior utilización.

5.1.5. Digestibilidad *in vitro*

Las muestras fueron molidas en un molino Wiley (Arthur H. Thomas Co. USA) a un tamaño de partícula de 1.0 mm y posteriormente fueron sometidas a prueba de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) por el método de Tilley – Terry (1963) según el procedimiento descrito en el Manual de Laboratorio de Bromatología. FESC. UNAM (Morfin, 2016).

5.1.6. Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza (ANOVA), seguido de una prueba de rangos múltiples utilizando el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para el análisis de los datos obtenidos de la prueba de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO), para determinar diferencias ($p < 0.05$) entre los tratamientos y días de exposición. El paquete estadístico utilizado fue STATGRAPHICS® Centurion XVI v. 17.1.12.

5.2. Prueba de palatabilidad

5.2.1. Área de estudio

La segunda etapa del presente trabajo, se realizó en la comunidad de Tecuescontitlán, municipio de Tepecoacuilco de Trujano, Guerrero, la cual está situada a 18° 14' de latitud norte y 99° 57' longitud oeste. La región posee un clima tropical con lluvias en verano, con una precipitación anual de 797.3 mm y una temperatura media de 26.2 °C (CONAGUA, 2015).

5.2.2. Diseño experimental

Para la prueba de palatabilidad, se utilizó un diseño experimental cuadrado latino en serie 5 x 5 (Borman *et al.*, 1991). Cada cuadrado latino fue constituido de 1 cabra dentro de un corral, 5 alimentos en prueba (rastrojo de maíz tratado), 5 posiciones diferentes y 5 días.

El modelo estadístico utilizado para evaluar el diseño experimental fue el siguiente (Montgomery, 2004):

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \beta_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = es la observación en la i -ésima posición y el k -ésimo día para el j -ésimo tratamiento químico

μ = es la media global

α_i = es el efecto de la posición

τ_j = es el efecto del tratamiento químico

β_k = es el efecto del día

ϵ_{ijk} = error aleatorio

5.2.3. Rastrojo de maíz

El rastrojo de maíz fue obtenido de las cosechas anuales de temporal (Junio – Octubre de 2015) que se realizan en la comunidad. El rastrojo de maíz fue molido con molino de martillos Azteca No. 24 con criba de ½ de pulgada para obtener tamaños de partícula promedio de 1.5 cm, y después empacado en costales y almacenado para su posterior utilización.

5.2.4. Tratamientos químicos

Para la prueba de palatabilidad, los tratamientos aplicados al rastrojo de maíz fueron: 1) rastrojo de maíz no tratado (control); 2) NaOH al 4 % (Bourguetts, 1998); 3) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 5 % (Sirohi *et al.*, 1998); 4) cenizas de madera al 18 % (Sudana, 1987); y 5) urea al 4 % (Martínez *et al.*, 2012; Muñoz *et al.*, 1991).

Se prepararon 60 kg de cada uno de los tratamientos, la preparación de las soluciones y tratamientos se preparó según el procedimiento descrito en el apartado 5.1.3. Para eliminar la mayor cantidad de aire posible y así proveer un ambiente anaerobio el material fue comprimido por pisoteo y después tapado con lona negra y sellado, se almacenó a temperatura ambiente ($24^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}$) y sin exposición a luz solar. El tiempo de exposición para los tratamientos fue de 28 días. El tiempo de exposición se estableció con base a los resultados obtenidos en la primera etapa de este trabajo (apartado 5.1). Transcurrido el tiempo de exposición, el rastrojo de maíz tratado fue secado por acción solar durante 48 horas y almacenado en costales.

5.2.5. Animales

Seis cabras secas criollas primíparas de 28.13 ± 1.44 kg y 17.58 ± 1.31 meses de edad fueron utilizadas en este experimento. Todos los animales ocupados para este experimento fueron originarios de la comunidad de Tecuescontitlán, municipio de Tepecoacuilco de Trujano, Guerrero.

5.2.6. Prueba de palatabilidad

Las cabras fueron alojadas en corrales individuales (1.3 m x 2.6 m), techados y con piso de cemento, las condiciones de luz, humedad y temperatura no fueron controladas artificialmente. Cinco comederos de plástico (15 cm x 15 cm x 20 cm) fueron colocados dentro de cada corral. Durante el periodo de adaptación de 5 días, cada cabra recibió 100 g de cada rastrojo tratado y no tratado como forma de primer contacto y así disminuir los efectos de novedad a los diferentes alimentos en prueba (Hernández *et al.*, 2012; Provenza *et al.*, 1996).

La colección de datos se realizó durante 5 días. Durante el periodo experimental, cada día, de 8:00 am a 10:00 am, se ofreció simultáneamente a cada cabra en ayuno de 8 horas, 300 g de cada rastrojo de maíz tratado con las cuatro sustancias álcalis y no tratado. El sitio donde fue suministrado cada alimento fue diferente cada día para evitar comportamiento reflejo (Ben Salem *et al.*, 1994). Durante el periodo de adaptación y las demás horas del día de la prueba de palatabilidad, las cabras fueron alimentadas en pastoreo de grama nativa durante 7 horas y 200 g de concentrado balanceado comercial (Flagasa[®] S.A.

de C.V., 16 % PC) por animal considerando un consumo de materia seca de 2 % respecto a su peso vivo. La cantidad rechazada de cada uno de los alimentos ofrecidos fue recogida y pesada (bascula Torrey® PCR- 20). El agua fue administrada *ad libitum* utilizando bebederos automáticos. Todas las mediciones fueron en base húmeda, posteriormente, todos los pesos registrados en la prueba de palatabilidad fueron ajustados 100 % base seca con base a los resultados obtenidos de la determinación de la materia seca total para cada uno los alimentos ofrecidos.

El consumo total para cada uno de los alimentos ofrecidos fue calculado con la fórmula siguiente:

CMS = cantidad de materia seca ofrecida – cantidad de materia seca rechazada

CMS = consumo de materia seca

A partir de los datos obtenidos de consumo total se calcularon los gramos de materia seca por kilogramo de peso vivo consumidos durante dos horas (g MS/ kg PV/ 2 h).

5.2.7. Índices de palatabilidad

Los índices de palatabilidad (P_i) para cada uno de los alimentos ofrecidos se calcularon a partir de los datos de consumo obtenidos conforme a las formulas propuestas por Mokoboki *et al.* (2011); Kaitho *et al.* (1997) y Ben Salem *et al.* (1994):

Para calcular la palatabilidad del alimento de referencia (tratamiento 1, rastrojo de maíz no tratado):

$$P_1 = (T_1 / A_1) / (T_1 / A_1)$$

Para calcular la palatabilidad del resto de los alimentos ofertados (tratamientos):

$$P_i = (T_i / A_i) / (T_1 / A_1) \text{ donde } i = 2, 3, 4 \text{ o } 5$$

Donde:

T_1 = Consumo promedio diario del rastrojo de maíz no tratado

T_i = Consumo promedio diario de los demás alimentos ofrecidos

A_1 = Cantidad ofrecida de rastrojo de maíz no tratado

A_i = Cantidad ofrecida de cada uno los alimentos en prueba

$i = 2, 3, 4$ o 5 representando a tratamiento químico alcalino con hidróxido de sodio, hidróxido de calcio, cenizas de madera y urea, respectivamente.

5.2.8. Valor nutritivo

El valor nutritivo del rastrojo de maíz no tratado y tratado utilizado en la prueba de palatabilidad fue determinado en términos de composición química y digestibilidad.

5.2.8.1. Composición química

Se recolectaron muestras al azar de cada uno de los tratamientos del rastrojo de maíz, se guardaron en bolsas de plástico y se almacenaron en lugar fresco y seco; posteriormente se trasladaron al laboratorio de Bromatología, para molerlas en un molino de Wiley (Arthur H. Thomas Co[®]. USA). A cada una de las muestras se le determinó: la materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), cenizas (C) y extracto libre de nitrógeno (ELN). Asimismo, la fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina ácido detergente (LAD) fueron determinadas por los métodos de Van Soest *et al.* (1991), según los procedimientos descritos en el Manual de Laboratorio de Bromatología. FESC. UNAM (Morfin, 2016).

El porcentaje de hemicelulosa y celulosa fueron calculados a partir de las siguientes ecuaciones (Shimada, 2009):

$$\% \text{ hemicelulosa} = \% \text{ FDN} - \% \text{ FDA}$$

$$\% \text{ celulosa} = \% \text{ FDA} - \% \text{ LDA}$$

Donde:

FND = Fibra Detergente Neutro

FDA = Fibra Detergente Ácido

LAD = Lignina Ácido Detergente

5.2.8.2. Digestibilidad *in vitro*

Las muestras recolectadas de rastrojo de maíz no tratado y tratado ofrecidos en la prueba de palatabilidad, fueron sometidas a prueba de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) por el método de Tilley – Terry (1963), según el procedimiento descrito en el Manual de Laboratorio de Bromatología. FESC. UNAM (Morfin, 2016).

5.2.9. Energía digestible

Los contenidos de energía digestible de las muestras de los rastrojos de maíz tratados utilizados en la prueba de palatabilidad, fueron estimados a partir del contenido de energía bruta obtenido mediante bomba calorimétrica adiabática (PARR® 1241, USA) por el porcentaje de digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica respectivo a cada muestra conforme la siguiente fórmula.

$$ED = EB \times DIVMO$$

Donde:

ED = Energía digestible

EB = Energía bruta

DIVMO = Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica

5.2.10. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), cenizas (C), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina ácido detergente (LAD), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO), energía digestible (ED), consumo e índices de palatabilidad (P_i) fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA), seguido de una prueba de rangos múltiples utilizando el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para determinar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. El análisis de correlación fue utilizado para establecer alguna asociación de los índices de palatabilidad con la composición química (PC, FDN, FDA), digestibilidad *in vitro* de la materia seca y energía digestible. El paquete estadístico utilizado fue STATGRAPHICS® Centurion XVI v. 17.1.12.

6. Resultados

6.1. Tiempo máximo de exposición al tratamiento alcalino

En el cuadro 6.1 y figura 6.1 se muestran los resultados obtenidos de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca a diferente tiempo de exposición del rastrojo de maíz tratado con las cuatro diferentes sustancias alcalinas; en relación a la digestibilidad de la materia seca se encontró interacción ($p < 0.001$) entre los factores estudiados. El tratamiento que presentó el mayor valor de DIVMS ($70.81 \% \pm 1.54$) fue hidróxido de sodio a los 7 días de exposición, seguido del tratamiento con urea con un valor de $67.95 \% \pm 1.44$ a los 28 días, el tratamiento con hidróxido de calcio a los días 21 días de exposición tuvo una digestibilidad de $64.63 \% \pm 0.38$, el tratamiento con cenizas de madera presentó un valor de $64.22 \% \pm 1.12$ para los 28 días, no hubo diferencia entre estos dos últimos tratamientos ($p = 0.058$) respecto al valor de digestibilidad encontrado. La digestibilidad de la materia seca y materia orgánica fue diferente ($p \leq 0.049$ y $p \leq 0.047$, respectivamente) entre tratamientos; siendo el tratamiento con hidróxido de sodio $>$ urea $>$ hidróxido de calcio $>$ cenizas de madera, respecto al aumento en la digestibilidad encontrado.

El cuadro 6.2 y figura 6.2 muestran los datos correspondientes a la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica a diferente tiempo de exposición del rastrojo de maíz tratado, se encontraron similitudes en comportamiento a los resultados obtenidos de la DIVMS.

Cuadro 6.1. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca a diferente tiempo de exposición del rastrojo de maíz tratado.

Tratamiento	Tiempo de exposición (días)								
	0	1	2	7	14	21	28	35	42
	%								
Hidróxido de sodio 4 %	45.09±2.80 j	60.45±1.75e	64.34±1.38c	70.81±1.54a	70.57±1.49a	70.45±1.24a	70.13±1.08a	70.52±1.47a	70.36 ±1.89a
Hidróxido de calcio 5 %	45.09±2.80 j	49.80±1.36i	53.36±3.02hi	58.89±2.09f	62.32±0.99d	64.63±0.38c	64.55±0.91c	64.48 ±1.82c	64.17 ±1.65c
Cenizas de madera 18 %	45.09±2.80 j	51.83±1.56i	54.65±0.96h	56.23±1.87g	60.72±1.85e	60.92±2.33e	64.22±1.12c	64.03±2.26c	64.23±1.54c
Urea 4 %	45.09±2.80 j	58.18±1.35f	61.52±1.23ed	62.27±1.64d	64.51±2.34c	64.78±0.95c	67.95±1.44b	67.88±1.72b	67.69±1.17b

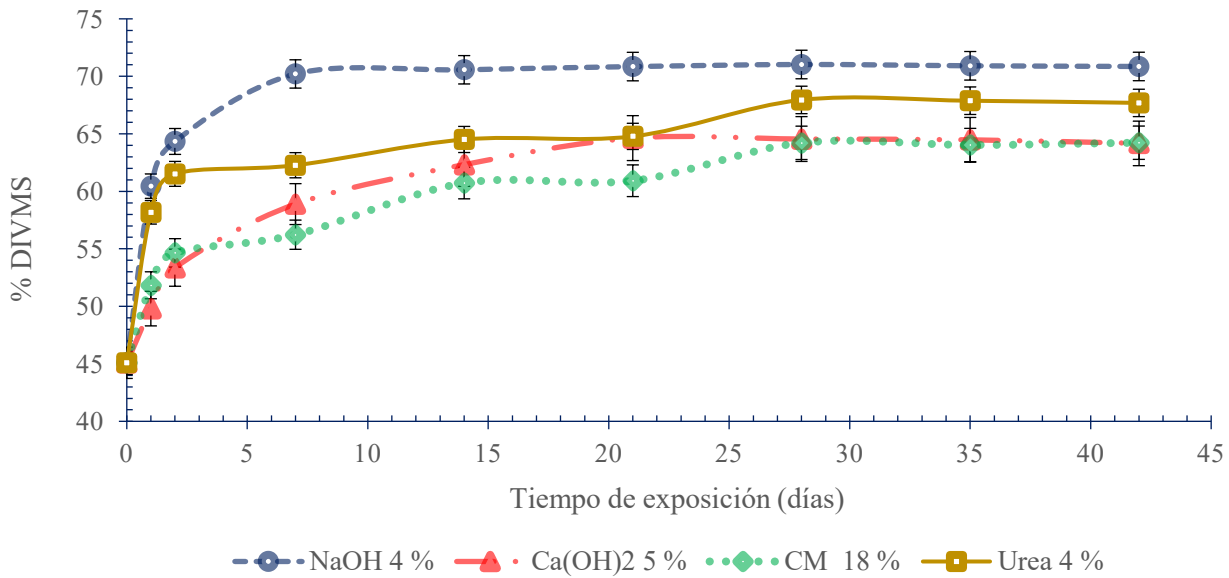
Letras diferentes indican diferencias significativas $p \leq 0.049$

Cuadro 6.2. Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica a diferente tiempo de exposición del rastrojo de maíz tratado

Tratamiento	Tiempo de exposición (días)								
	0	1	2	7	14	21	28	35	42
	%								
Hidróxido de sodio 4 %	38.93±2.91k	52.29±1.35f	56.18±1.72d	63.94±2.28a	63.65±1.66a	63.59±2.34a	62.94±1.92a	63.49±1.18a	63.15±2.30a
Hidróxido de calcio 5 %	38.93±2.91k	39.39±1.06k	41.95±3.17j	47.68±2.48h	50.88±3.79g	54.11±0.32e	54.47±2.99e	54.92±3.13de	54.56±3.27de
Cenizas de madera 18 %	38.93±2.91k	45.80±1.71i	48.61±3.47h	49.14±0.97g	54.24±3.04e	54.47±1.99e	56.23±2.26d	56.54±5.99d	57.68±3.79d
Urea 4 %	38.93±2.91k	51.68±3.42d	55.10±1.57d	58.03±1.93c	58.04±2.35c	58.58±0.64d	60.03±1.65b	59.92±0.45b	59.65±1.17b

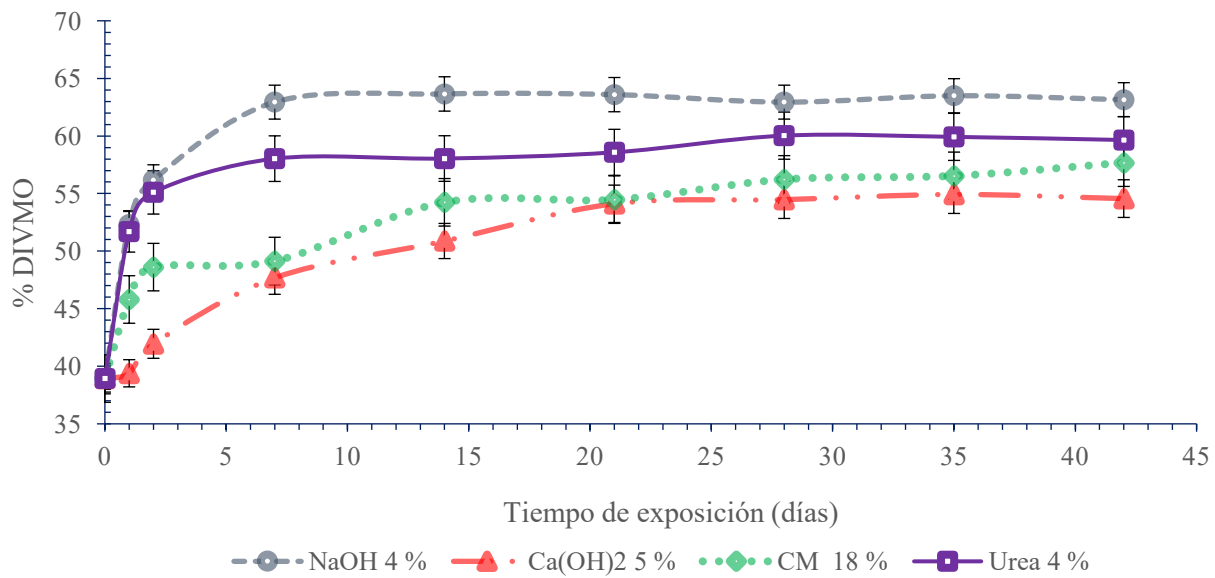
Letras diferentes indican diferencias significativas $p \leq 0.047$

Figura 6.1. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca a diferente tiempo de exposición del rastrojo de maíz tratado



NaOH 4%: hidróxido de sodio 4 %, Ca(OH)2: hidróxido de calcio 5 %, CM 18 %: cenizas de madera 18 %

Figura 6.2. Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica a diferente tiempo de exposición del rastrojo de maíz tratado



NaOH 4%: hidróxido de sodio 4 %, Ca(OH)2: hidróxido de calcio 5 %, CM 18 %: cenizas de madera 18 %

6.2. Prueba de palatabilidad

En el cuadro 6.3 destaca que el RM tratado con hidróxido de sodio fue el más consumido (2.66 ± 0.23 , $p = 0.020$) y palatable ($P_i = 2.62 \pm 0.19$, $p = 0.020$) para las cabras seguido en orden decreciente por el RM tratado con cenizas de madera, el consumo y palatabilidad para el tratamiento con hidróxido de calcio y el RM no tratado no fue diferente ($p = 0.871$), con un consumo de 0.62 ± 0.23 g MS/ kg PV el RM tratado con urea fue el menos consumido y palatable ($P_i = 0.61 \pm 0.19$, $p = 0.008$).

La diferente posición del alimento en prueba y el día no fueron factores con efecto significativo ($p = 0.553$, $p = 0.076$, respectivamente) sobre el consumo del rastrojo no tratado y tratado con las diferentes sustancias alcalinas.

En las figuras 6.3 y 6.4 se muestran de forma gráfica los datos correspondientes a consumo e índices de palatabilidad del rastrojo de maíz tratado y no tratado.

Cuadro 6.3. Consumo e índices de palatabilidad del rastrojo de maíz tratado con las diferentes sustancias álcalis.

Tratamiento	Consumo		Índice de palatabilidad	
	g MS/kg PV/2 h	(EE)		(EE)
No tratado*	1.71 c	0.23	1.00 c	0.19
Hidróxido de sodio 4 %	2.66 a	0.23	2.62 a	0.19
Hidróxido de calcio 5 %	1.25 c	0.24	0.91 c	0.19
Cenizas de madera 18 %	1.94 b	0.23	1.81 b	0.19
Urea 4 %	0.62 d	0.23	0.61 d	0.19

*control

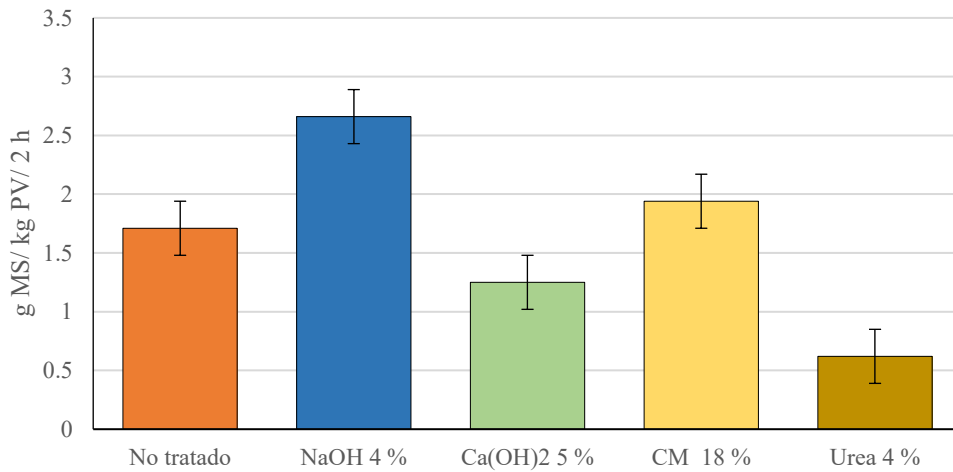
Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas $p \leq 0.020$

EE: error estándar

El cuadro 6.4 muestra la composición química del rastrojo de maíz sometido a los diferentes tratamientos alcalinos utilizados en la prueba de palatabilidad, el contenido de materia seca fue diferente ($p = 0.048$) entre los diferentes tratamientos. El contenido de materia orgánica disminuyó en el RM tratado con hidróxido de sodio e hidróxido de calcio de 94.10 % hasta 88.11 % y 88.63 %, respectivamente. Respecto al contenido de proteína cruda los valores más altos se observaron en el RM tratado con urea (11.65 %). El RM no tratado presentó el más alto porcentaje de extracto etéreo (3.31 ± 0.35 , $p = 0.039$) y disminuyó con los diferentes tratamientos alcalinos. El contenido de fibra cruda fue

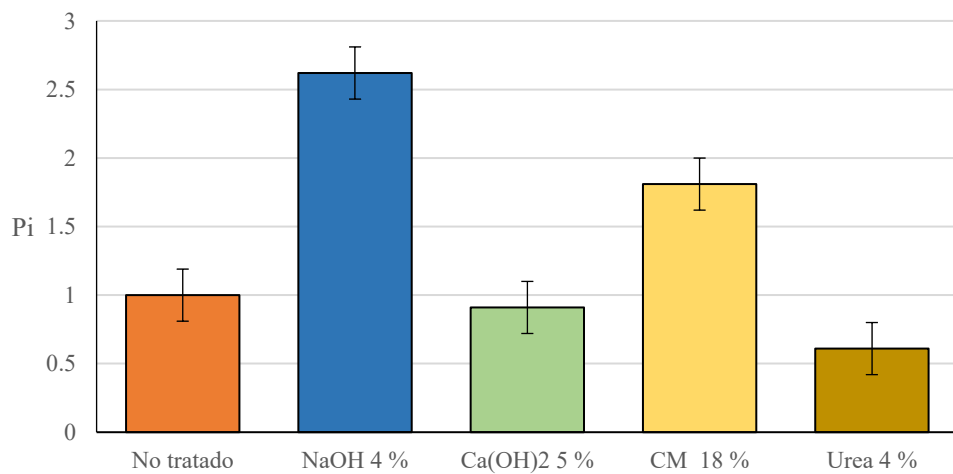
diferente ($p = 0.042$) y disminuyó en el RM tratado con hidróxido de sodio, hidróxido de calcio y cenizas de madera, no así para el RM tratado con urea, respecto al RM no tratado. También se encontró un incremento de 6.62 % a 13.22 % y 12.97 % en el porcentaje de cenizas en el rastrojo de maíz tratado con hidróxido de sodio y tratado con hidróxido de calcio, respectivamente, en relación con el rastrojo no tratado

Figura 6.3. Consumo del rastrojo de maíz tratado con las diferentes sustancias álcalis.



NaOH 4%: hidróxido de sodio 4 %, Ca(OH)₂: hidróxido de calcio 5 %, CM 18 %: cenizas de madera 18 %

Cuadro 6.4. Índices de palatabilidad del rastrojo de maíz tratado con las diferentes sustancias álcalis.



NaOH 4%: hidróxido de sodio 4 %, Ca(OH)₂: hidróxido de calcio 5 %, CM 18 %: cenizas de madera 18 %

Cuadro 6.4. Composición química (en base seca) del rastrojo de maíz utilizado en la prueba de palatabilidad

Tratamiento	Fracción						
	MS	MO	PC	EE	FC	C	ELN
	%	%	%	%	%	%	%
No tratado*	89.19 ±0.01 b	94.10 ±0.61b	3.88 ±0.31 d	3.31 ±0.35 a	27.30 ±0.71 a	6.62 ±0.61 b	58.89
Hidróxido de sodio 4 %	89.93 ±0.01 a	88.11 ±0.61 c	4.40 ±0.12 c	2.70 ±0.74 b	25.99 ±0.03 c	13.22 ±0.61 a	53.69
Hidróxido de calcio 5 %	89.72 ±0.09 a	88.63 ±0.20 c	4.71 ±0.12 c	2.32 ±0.74 d	25.25 ±0.03 d	12.97 ±0.20 a	54.75
Cenizas de madera 18 %	88.25 ±0.14 c	94.38 ±0.25 b	6.16 ±0.28 b	2.44 ±0.52 c	26.69 ±0.19 b	6.37 ±0.25 b	58.34
Urea 4 %	89.47 ±0.04 b	95.31 ±0.18 a	11.65 ±0.74 a	2.60 ±0.91 b	27.06 ±0.54 a	5.24 ±0.18 c	53.45

*control

MS: materia seca, MO: materia orgánica, PC: proteína cruda, EE: extracto etéreo, FC: fibra cruda, C: cenizas, ELN: extracto libre de nitrógeno

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas $p \leq 0.045$

En el cuadro 6.5 destaca el rastrojo de maíz no tratado por tener los porcentajes de fibra detergente neutro (76.61 % ± 0.39), fibra detergente ácido (35.42 % ± 0.23) y de lignina ácido detergente (3.69 % ± 0.30) más altos, seguido en orden decreciente por el RM tratado con hidróxido de calcio, cenizas de madera y urea. Los valores más bajos en fibra detergente neutro de 61.19 % ± 0.95, fibra detergente ácido de 30.18 % ± 0.23 y lignina ácido detergente de 3.02 % ± 0.08 fueron para el RM tratado con hidróxido de sodio. La cantidad de hemicelulosa disminuyó de 41.19 % hasta 31.01 % en el rastrojo de maíz tratado, con relación a la cantidad de celulosa, se encontró una disminución en los diferentes tratamientos alcalinos.

Cuadro 6.5. Fracciones de Van Soest (en base seca) del rastrojo de maíz utilizado en la prueba de palatabilidad

Tratamiento	Fracción				
	FND %	FAD %	LAD %	Hemicelulosa %	Celulosa %
No tratado*	76.61 ±0.39 a	35.42 ±0.23 a	3.69 ±0.30 a	41.19 a	31.73 a
Hidróxido de sodio 4 %	61.19 ±0.95 d	30.18 ±0.53d	3.02 ±0.08 c	31.01 d	27.16 d
Hidróxido de calcio 5 %	66.12 ±0.14 b	31.81 ±0.44 c	3.39 ±0.40 b	34.31 b	28.42 c
Cenizas de madera 18 %	65.59 ±0.73 b	31.32 ±0.13 c	3.22 ±0.14 b	34.27 b	28.09 c
Urea 4 %	64.87 ±0.53 c	32.40 ±0.51 b	3.06 ±0.01 c	32.47 c	29.34 b

*control

FND: fibra neutro detergente, FAD: fibra ácido detergente, LAD: lignina ácido detergente

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas $p \leq 0.042$

En el cuadro 6.6 se muestran los datos de DIVMS, DIVMO y contenido de ED estimado del rastrojo de maíz utilizado en la prueba de palatabilidad. El tratamiento con hidróxido de sodio incrementó de $48.11\% \pm 0.78$ a $72.83\% \pm 1.41$ la digestibilidad del RM, seguido del RM tratado con urea, hidróxido de calcio y cenizas de madera. La DIVMO fue mayor para el tratamiento con hidróxido de sodio ($62.87\% \pm 1.15$, $p \leq 0.012$). El contenido de ED estimado fue de 2.25 y 1.48 Mcal/ kg para RM tratado con hidróxido de sodio y RM no tratado, como máximo y mínimo.

Cuadro 6.6. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca, digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica y energía digestible estimada del rastrojo de maíz utilizado en la prueba de palatabilidad

Tratamiento	DIVMS	DIVMO	ED σ
	%	%	Mcal / kg
No tratado*	48.11 ± 0.78 e	39.63 ± 1.92 e	1.48 e
Hidróxido de sodio 4 %	72.83 ± 1.41 a	62.87 ± 1.15 a	2.25 a
Hidróxido de calcio 5 %	63.19 ± 1.02 c	51.33 ± 2.06 d	1.84 d
Cenizas de madera 18 %	61.94 ± 1.55 d	53.03 ± 0.65 c	1.98 c
Urea 4 %	69.52 ± 0.82 b	58.45 ± 1.33 b	2.16 b

*control

DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca, DIVMO: digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica,

σ ED: energía digestible = energía bruta x DIVMO

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas $p \leq 0.039$

En el cuadro 6.7 destaca que los índices de palatabilidad calculados tuvieron una mínima correlación negativa no significativa con los valores de PC, FDN y FDA, así también con la DIVMS y contenido de ED. El contenido de FND estuvo fuertemente correlacionados negativamente a la DIVMS (-0.96) y ED (-0.89). La DIVMS y ED estuvieron fuertemente correlacionadas (0.97).

Cuadro 6.7. Correlación de los índices de palatabilidad con la composición química, digestibilidad y energía digestible del rastrojo de maíz no tratado y tratado

Parámetro	Índice de palatabilidad	PC	FND	FAD	DIVMS	ED
Índice de palatabilidad	–					
PC	-0.53NS	–				
FND	-0.31 NS	-0.26NS	–			
FAD	-0.26NS	-0.02NS	0.93	–		
DIVMS	0.41NS	0.31NS	-0.96	-0.79NS	–	
ED	0.30NS	0.52NS	-0.89	-0.66NS	0.97	–

PC: proteína cruda, FND: fibra neutro detergente, FAD: fibra ácido detergente, DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca, ED: energía digestible
 NS: no significativo

7. Discusión

La diferencia encontrada en la DIVMS y DIVMO entre los diferentes tratamientos químicos alcalinos y los diferentes tiempos máximos de exposición sugiere que la eficacia del tratamiento químico varía en función al tipo de compuesto utilizado (Bourguetts, 1998; Haddad *et al.*, 1995; Jackson, 1978; Wang *et al.*, 2008), y esto último, relacionado al potencial alcalino e hidrolítico de cada compuesto (Wolfe, 1996).

Existen evidencias de que el hidróxido de sodio y urea fueron las sustancias con mejores rendimientos en el tratamiento químico del rastrojo de maíz, pero existen pocos estudios en relación a los tiempos de exposición necesarios para obtener la máxima eficacia al tratamiento alcalino en pajas y rastrojos. La digestibilidad promedio de materia seca del rastrojo de maíz fue 57.14 % mayor con el tratamiento de hidróxido de sodio al 4 % a 7 días de exposición comparado con el rastrojo no tratado, los resultados obtenidos fueron superiores a los reportados por Ololade *et al.* (1970) quien encontró un aumento respecto al material no tratado de 31.17 % en la digestibilidad del rastrojo de maíz tratado con hidróxido de sodio al 4 % a 24 horas de exposición, las diferencias pueden ser atribuidas al diferente tiempo de exposición utilizado durante la experimentación. Los resultados obtenidos por Martínez *et al.* (2012), Ramírez *et al.* (2007) y Souza *et al.* (2001) reportan que el tratamiento alcalino con urea fue efectivo en el aumento de la digestibilidad de la materia seca del rastrojo de maíz, los resultados coinciden considerando el aumento en la digestibilidad del material tratado, no así al tiempo de exposición de 28 días encontrado en este estudio para el tratamiento con urea, los autores realizaron la evaluación de la eficacia en el aumento de la digestibilidad del tratamiento a los 21, 30 y 40 días.

Diversos autores sugieren el uso de hidróxido de calcio $[Ca(OH)_2]$ (Shreck *et al.*, 2015; Reilly *et al.*, 2015; Haddad *et al.*, 1995;) y cenizas de madera (Nolte *et al.*, 1987; Sudana, 1987) en el tratamiento químico de pajas y rastrojos como alternativas viables, de menor costo, de fácil obtención y manipulación. Shreck *et al.*, (2015) encontraron un aumento en la digestibilidad de la materia seca de 66.2 a 74.7 %, 63.2 a 74.5 % de la paja de avena y rastrojo de maíz, respectivamente, tratados con una solución de $Ca(OH)_2$ al 5 %, en un ambiente anaerobio. Los valores obtenidos en este estudio son menores a los reportados por Shreck *et al.*, (2015), considerando que los materiales tratados tuvieron una digestibilidad inicial superior. Con relación al tiempo máximo de exposición de 21 días encontrado para el tratamiento con hidróxido de calcio al 5 %, los resultados coincide con el trabajo realizado por Sirohi y Rai (1998), sus resultados mostraron que el tratamiento con 5 % de hidróxido de calcio con

60% de humedad y almacenado por tres semanas (21 días); parece ser eficaz en la solubilización de los componentes de la pared celular y el aumento de la digestibilidad de la materia seca.

Los resultados obtenidos por Sudana (1987), sugieren la eficacia del tratamiento con cenizas de madera al 18 % durante 28 días en el incremento de la digestibilidad de la materia seca en la paja de arroz. El tiempo de exposición encontrado y el reportado por este autor fue similar. En este estudio se encontró un aumento de 45.09 % a 64.22 % en la digestibilidad del rastrojo de maíz tratado con cenizas de madera al 18 % a los 28 días, los resultados son mayores en relación a los reportados por Sudana (1987), independientemente del tiempo de exposición, y posiblemente las diferencias estén influenciadas por la procedencia de las cenizas de madera y tipo de material tratado.

Las diferencias en la palatabilidad del rastrojo de maíz tratado se asociaron al sabor y olor de los alimentos, estos últimos, son considerados los más importantes estímulos y factores determinantes para que un alimento sea o no consumido y se asocian a los diferentes componentes del alimento (Garrote y Arede, 2012). En términos de percepción de sabores, las cabras son capaces de distinguir las cuatro modalidades básicas de sabor y el orden de preferencia es el orden siguiente: amargo, salado, dulce y ácido (Garrote y Arede, 2012). La alta palatabilidad del rastrojo de maíz tratado con hidróxido de sodio fue indicativo de su contenido de sodio proveniente del compuesto utilizado en el tratamiento, el cual le confiere un sabor salado (Sola *et al.*, 2012; Ginane *et al.*, 2011). El rastrojo de maíz tratado con cenizas de madera, fue el segundo alimento más palatable para las cabras, esto también puede ser adjudicado a que las cenizas de madera al presentar contenidos importantes de diferentes nutrimentos como K, P, Mg y Ca, los cuales se encuentran en formas relativamente solubles (Solla *et al.*, 2001), proporcionan un sabor salado al material tratado.

Debido a que los herbívoros son capaces de detectar componentes tóxicos mediante el olfato o inmediatamente después del primer bocado (Personius, 1987), la baja palatabilidad del rastrojo de maíz tratado con urea en relación a los demás alimentos sometidos a prueba puede asociarse al fuerte olor amoniacal (Suttie, 2003) desagradable e irritante de la mucosa nasal del material tratado, debido a la formación de amoniaco y amonio durante la hidrólisis de la urea en el tratamiento químico (Wolfe, 1996; Joy, 1991). El consumo y palatabilidad del rastrojo de maíz tratado con urea no coincide con lo reportado por diversos autores, la mayor parte de los trabajos revisados se realizaron para determinar el consumo de dietas con algún porcentaje de inclusión de material tratado alcalinamente. Chandrasekhaiah *et al.* (1996) encontró que el consumo voluntario de MS en cabras fue menor en la dieta a base de rastrojo de maíz no tratado, comparado con a la dieta con rastrojo de maíz tratado con

urea, asimismo, Mgheni *et al.* (1993) reportó un incremento en el consumo diario de materia seca a 59.3 g/ kg PV de paja de arroz tratada con urea comparado con 23.1 g para la paja no tratada. Atwood *et al.* (2001) reporta un incremento del consumo de paja de avena tratada con amoníaco sin saborizante y con sabores maple y coco comparado con paja no tratada en las tres variedades de sabor.

La palatabilidad intermedia del rastrojo de maíz no tratado pudiera estar asociada a la familiarización de los animales con este alimento, esto debido a que en zonas secas y/o marginadas en México, los sistemas de producción de cabras han sido una manera tradicional de utilizar los recursos de baja productividad como lo son las pajas y rastrojos (Iñiguez, 2011; Ben Salem y Smith, 2007).

Con respecto a la composición química del rastrojo de maíz tratado, el valor de proteína cruda en el rastrojo de maíz tratado con urea fue mayor con relación al rastrojo de maíz sin tratar, estos resultados coinciden con los obtenidos en los estudios realizados por Martínez *et al.* (2012), Ramírez *et al.* (2007) y Muñoz *et al.* (1991). Martínez *et al.* (2012) mencionan que el porcentaje de proteína fue mayor cuando el rastrojo de maíz fue tratado con 4 % de urea (12.73 %) comparado con el testigo (5.76 %). El incremento en el contenido de PC del rastrojo de maíz tratado estar asociado a la adición de urea como fuente de nitrógeno no proteico (Martínez *et al.*, 2012), el cual, queda fijado en la pared celular en forma de nitrógeno soluble en forma principalmente de nitrógeno amoniacal (Joy, 1991).

La disminución de las fracciones FND y FAD encontrada en cada uno de los diferentes tratamientos alcalinos se relacionan a la hidrólisis alcalina sobre la fracción fibrosa (solubilización de la hemicelulosa) (Jung *et al.*, 1993), esta disminución se ve reflejada en el contenido de hemicelulosa y celulosa del rastrojo de maíz tratado. La poca diferencia en la concentración de LAD entre los tratamientos alcalinos, se pueden asociar a la resistencia de la lignina a la degradación química alcalina (Azcon y Talon, 2008; Flores, 2013). Estos resultados son similares a los obtenidos en trabajos realizados por Haddad *et al.* (1991), Ramírez *et al.*, (2007) y Nolte *et al.* (1986).

El aumento en el contenido de cenizas en los rastrojo de maíz tratados con hidróxido de sodio e hidróxido de calcio fue relacionado a la adición de sodio y calcio provenientes de los compuestos utilizados para el tratamiento. Los resultados son similares a los encontrados por Nolte *et al.* (1987) y Lázaro (2012), este último, encontró una relación lineal entre el aumento del porcentaje de cenizas en los residuos de caña de azúcar y el aumento de la concentración de la solución de hidróxido de calcio utilizada para el tratamiento químico de los residuos. La disminución en el contenido de materia orgánica fue relacionado, a que este valor se determinó por diferencia de 100 % con respecto al contenido de cenizas. En relación a la disminución en el contenido de extracto etéreo, se relacionó a

que todas aquellas sustancias que en su estructura molecular contienen restos de ácidos grasos son susceptibles de saponificación, una reacción de hidrolisis por efecto de una sustancia alcalina (Wolfe, 1996).

El incremento de la DIVMS y DIVMO está relacionado a la separación de los componentes poliméricos de los materiales lignocelulósicos (celulosa, hemicelulosa y lignina) por efecto del tratamiento alcalino (Galbe y Zacchi, 2007; Mosier *et al.*, 2005). Este tipo de fraccionamiento permite una utilización separada de las fracciones obtenidas. La hidrolisis de la fracción hemicelulósica conduce a monómeros de azúcares como productores de energía, constituidas fundamentalmente por xilosa (Téllez *et al.*, 2007), más susceptibles a la degradación ruminal (Klopfenstein, 1980); esto último, sugiere también una explicación al incremento en la cantidad de ED estimada entre el rastrojo de maíz no tratado y tratado.

Los resultados obtenidos del análisis de correlación de los índices de palatabilidad con la composición química, digestibilidad y energía digestible encontrados, sugieren que la palatabilidad del rastrojo de maíz tratado no depende de estos factores. Los resultados difieren con los reportados por Mokoboki *et al.* (2011), el autor encontró una relación negativa (-0.75) de palatabilidad y consumo voluntario en cabras y borregos con la concentración de FDN en forraje de árboles de leguminosas. La fuerte correlación positiva encontrada entre la DIVMS y ED, sugiere el aumento en la biodisponibilidad de los carbohidratos de la pared celular por efecto del tratamiento químico (Klopfenstein, 1980; Jung *et al.*, 1993). La FND y FAD tuvieron una fuerte correlación negativa con la digestibilidad, esto debido en medida al grado de madurez del forraje (rastrojo de maíz), ya que conforme aumenta la madurez del forraje, incrementa el contenido de paredes celulares, lo que lleva consigo un decremento gradual en la digestibilidad (Church *et al.*, 2007).

8. Conclusiones

- El tiempo de exposición del rastrojo de maíz a los tratamientos alcalinos para alcanzar la mayor digestibilidad *in vitro* de la materia seca, varió entre los 7 y 28 días; el tiempo menor fue para el tratamiento con hidróxido de sodio y el mayor para urea y cenizas de madera fue de 28 días; lo cual implicaría la necesidad de organizar las actividades para el tratamiento de rastrojo de maíz, de acuerdo al tipo de tratamiento que se seleccione.
- A pesar de que el rastrojo de maíz tratado con hidróxido de sodio se parece al rastrojo de maíz tratado con urea en cuanto a que ambos presentaron arriba del 60 % de DIVMO, se distinguen en que el rastrojo de maíz tratado con hidróxido de sodio presentó un menor porcentaje de PC en contraste al rastrojo tratado con urea, lo cual implicaría que en el contexto de una dieta esto se ve reflejado en una menor utilización de suplementos proteicos.
- El rastrojo de maíz tratado con hidróxido de sodio fue el más palatable para las cabras, con mejor digestibilidad, alto contenido de energía digestible y un tiempo máximo de exposición menor, en relación con el resto de los tratamientos; sin embargo, su contenido de PC es bajo y similar al rastrojo de maíz no tratado, característica que comparte con el rastrojo tratado con hidróxido de calcio y cenizas de madera.
- El rastrojo de maíz tratado con urea, fue el menos palatable en cabras, en relación con el resto de los tratamientos; sin embargo, posee una digestibilidad y energía cercana al rastrojo tratado con hidróxido de sodio y mayor contenido de proteína.
- La palatabilidad en cabras del rastrojo de maíz tratado no está influenciada por su composición química, digestibilidad y su contenido energético.

9. Literatura citada

- Agbor B.V., Cicek N., Sparling R., Berlin A., David B. Levin B.L. 2011. Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. *Biotech. Adv*, 29: 675–685.
- Araujo J.A., Milgram N.W. (2004). A novel cognitive palatability assessment protocol for dogs. *J. Animal Sci.* 82: 2200- 2206.
- Atwood S.B., Provenza F.D., Wiedmeier R.D., Banner R.E. 2001. Changes in preferences of gestating heifers fed untreated or ammoniated straw in different flavors. *J. Anim. Sci.*, 79: 3027- 3033.
- Azcon B.J. y Talon M. 2008. *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2ª edición. Mc Graw Hill. España.
- Baumont R. 1996. Palatability and feeding behaviour in ruminants. A review. *Ann. Zootech, INRA/EDP Sciences*. 45 (5): 385- 400.
- Baumont R., Prache S., Meuret M., Morand – Fehr P. 2000. How forage characteristics influence behaviour and intake in small ruminants: a review. *Livestock Prod. Sci.* 64: 15- 28
- Becques A., Larose C., Baron C., Niceron C., Feron C., Gouat P. 2014. Behaviour in order to evaluate the palatability of pet food in domestic cats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 159: 55- 61.
- Ben Salem, H.B, Nefzaoui A., Abdouli H. 1994. Palatability of shrubs and fodder trees measured on sheep and dromedaries: 1. Methodological approach. *Anim. Feed Sci. Technol.* 46: 143-153.
- Ben Salem H., Smith T. 2007. Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Ruminant Res.* 77; 174- 194.
- Borman M.M., Adams C.D., Knapp W.B., Haferkamp R.M. 1991. Evaluation of dietary preference with a multiple latin square design. *J. Range Manage.* 44(3): 295- 296.
- Bourguetts L.L.R. 1998. Efecto del tratamiento alcalino sobre la cinética de degradación ruminal de dos subproductos lignocelulósicos (tesis de maestría). Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Jalisco, México.
- Chandrasekharaiah M., Reddy M.R. Reddy G.V.N. 1996. Effect of feeding urea treated maize stover on growth and nutrient utilization by sheep and goats. *Small Ruminant Res.* 22:141- 147.
- Church D.C., Pond W.G., Pond K.R. 2007. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. 2ª edición. Limusa Wiley. México
- Clouard C., Meunier S.M.C., Val L.D. 2012. The effects of sensory functional ingredients on food preferences, intake and weight gain in juvenile pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 138: 36- 46.
- CONAGUA (Comisión Nacional del AGUA). 2015. Resúmenes mensuales de temperatura y lluvia. Disponible en:
http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=112

- Correa L.M. 2008. Pastoreo de rastrojos de maíz y soja en cría bovina intensiva. Publicación Miscelánea N° 41. EEA Oliveros, Centro Regional Santa Fe, Argentina.
- DeVries, T. J., Dohme F., Beauchemin K. A. 2008. Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: ruminal pH. *J. DairySci.* 91(9): 3958–3967.
- Etiégni L., Campbell A.G., 1991. Physical and chemical characteristics of wood ash. *Bioresour Technol.* 37, 173-178.
- Fahmy S.T.M. y Klopfenstein T.J. 1992. Treatment with different chemicals and their effects on the digestibility of maize stalks. *In vitro* studies. *Anim. Feed Sci. Technol.* 38: 331-337.
- FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal), 2016. Disponible en: [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/paja-de-cereales-trigo-y-cebada][consultada en agosto de 2016].
- Fernández T. V., Klaasse, B. B. J., Zeeman, G., Sanders J. P. M. y Van Lier, J. B. 2009. Effects of thermo-chemical pretreatment on anaerobic biodegradability and hydrolysis of lignocellulosic biomass. *Bioresour Technol.* 100: 2575-2579.
- Flores V.E. 2013. La planta: estructura y función. 4ª edición. Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.
- Forbes J.M. 1995. Voluntary food intake and diet selection in farm animal. CAB International.
- Forbes J.M. 2010. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. 2° edition. CABI. London, UK.
- Fuentes J., Magaña C., Suárez L., Rodolfo P. R., Rodríguez S. y Ortiz, B. 2001. Análisis químico y digestibilidad “*in vitro*” de rastrojo de maíz (*Zea mays L.*). Nota Técnica. *Agronomía Mesoamericana* 12 (2): 189-192.
- Galbe M., Zacchi G. 2007. Pretreatment of lignocellulosic materials for efficient bioethanol production. *Biofuels*, 108:41–65.
- Gandi J., Holtzaple T.M., Ferrer A., Byers M.F., *et al.* 1997. Lime treatment of agricultural residues to improve rumen digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 68: 195-211.
- García M.A. 2002. Tratamiento de rastrojo de maíz con urea como una alternativa para la alimentación de vacas lecheras en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el Valle de Toluca. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México. D.F.
- Garrote E.D., Arede J.G (Editors), (2012). *Goats: habitat, breeding and management*. NOVA. New York, USA

- Ginane C., Baumont R., Favreau – Peigné A. 2011. Perception and hedonic value of basic taste in domestic ruminants. *Physiol Behav.* 104: 666- 674.
- González M. (Editor). 2015. Aprovechamiento de esquilmos y subproductos en la alimentación del ganado. SAGARPA. [En línea] [Consultado 13 Diciembre 2015]. Disponible en: [<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Aprovechamiento%20de%20esquilmos.pdf>]
- Grabber, J. (2005). How do lignin composition, structures, and cross-linking affect degradability? A review of cell wall model studies. *Crop Sci.* 45: 820-831
- Haddad S.G., Grant R.J., Klopfenstein T.J. 1995. Digestibility of alkali-treated wheat straw measured in vitro or in vivo using Holstein heifers. *J. Anim. Sci.*, 73: 3258-3265.
- He Y., Pang Y., Liu Y., Li X., Wang K. 2008. Physicochemical characterization of rice straw pretreated with sodium hydroxide in the solid state for enhancing biogas production. *Energy Fuels* 22, 2775–2781.
- Hendriks A.T.W.M. y Zeeman G. 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresour Technol*, 100: 10-18.
- Hernández O.G., Torres A.J.F.J., Sandoval C.C.A., Aguilar C.A.J., Capetillo L.C.M., Alonso D.M.A. 2012. In cafeteria trials with tannin rich plants, tannins do not modify foliage preference on goats with browsing experience. *Ethology Ecology Evolution.* 24 (4): 332- 343.
- Hon D.N.S. y Shiraishi N. 2001. *Wood and Cellulosic Chemistry*, second ed. Dekker, New York.
- Hughes H.D., Heath M.E., Metcalfe D.S. 1981. Forrajes. La ciencia de la agricultura basada en la producción de pastos. 2º edición. C.E.C.S.A. México. p. 59- 69.
- Iñiguez L. 2011. The challenges of research and development of small ruminant production in dry areas. *Small Ruminant Res.* 98: 12- 20.
- Jackson M.G. (1978). Treating straw for animal feeding. FAO, Animal Production and Health Paper N°. 10. (FAO, Rome, Italy). Disponible en: [<http://www.fao.org/docrep/003/x6510e/X6510E00.htm#TOC>]
- Joy M., Alibés X., Muñoz F. 1992. Chemical treatment of ligno-cellulosic residues with urea. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 38: 319-333.
- Joy T. M. 1991. Mejora del valor nutritivo de la paja de cereal mediante el tratamiento químico con urea (tesis doctoral). Bellaterra, España: Facultad de Veterinaria. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Jung H.G., Buxton D.R., Hatfiel R.D. and Ralph J. (Editors) 1993. Forage cell Wall structure and digestibility. ASA. CSS. SSSA. Madison, Wisconsin, USA.

- Kaar, W. E., Holtzaple, M. T. 2000. Using lime pretreatment to facilitate the enzyme hydrolysis of corn stover. *Biomass Bioenergy*, 1-11.
- Keskin M., Şahin A., Biçer O., Gül S. 2004. Comparision of the behavior of Awassi lambs in cafeteria feeding system with single diet feeding system. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 85: 57- 64.
- Kaitho R.J., Umunna N.N., Nsahlai I.V., Tamminga S., van Bruchem J., Hanson J. 1997. Palatability of wilted and dried multipurpose tree species fed to sheep and goats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 65: 151- 163.
- Klopfenstein T. 1980. Increasing the nutritive value of crop residues by chemical treatment. Animal Science Dept. University of Nebraska. Lincoln, Nebraska, USA.
- Lázaro Q.C.J. 2012. Efecto del hidróxido de calcio en el mejoramiento del valor nutritivo de alimentos a base de residuos de la cosecha de la caña de azúcar (tesis de maestría). Colegio de Postgraduados. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Tabasco. México.
- Leonardi C., Armentano L.E. 2003. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *J Dairy Sci.*86 (2): 557- 64.
- Luna, M. 2010. Rendimiento de maíz en un año lluvioso y uno seco. *Investigación Científica*, 6: 1-13. IMTA.
- Macedo R. J. 2000. Análisis del sistema de alimentación pecuario: rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) – pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* P.) en la zona norte del estado de Colima. Universidad de Colima (tesis doctoral). Disponible en: [http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Rafael%20Julio%20Macedo%20Barragan%20DOC%20TORADO.pdf.]
- Martínez T.G., Ortega C.M.E., Landois P.L.L., Pineda O.A., Pérez P.J. 2012. Rendimiento productivo y las variables ruminales de corderos alimentados con rastrojo de maíz tratado con urea. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(6):1157-1170.
- Matthews L.R. 1983. General introduction. In: measurement and scaling of food preferences in dairy cows: concurrent schedule and free- Access techniques. PhD Thesis, University of Waikato, New Zealand.
- Maynard L. A. H., Loosli H. F., Warner J. K., Maynard R. G. L. A., Loosli, J. K., Hintz, H. F. 1981. *Nutrición animal*. 4º edición. McGraw-Hill. México.
- McDonald P., Edwards R.A., Greenhalgh J. Morgan C.A. 2006. *Nutrición Animal*. 6ª edición. Ed. Acribia. España.
- Melissari B. 2012. Comportamiento de cenizas y su impacto en sistemas de combustión de biomasa. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, N° 10.

- Mgheni D.M., Kimambo A.E., Sundtøl F., Madsen J. 1993. Influence of urea treatment or supplementation on degradation, intake and growth performance of goats fed rice straw diets. *Animal Feed Sci. Technol.* 44: 209- 220.
- Miller-Cushom E.K., Montoro C., Ipharraguerre I.R., Bach A. 2014. Dietary preference in dairy calves for feed ingredients high in energy and protein. *J. Dairy Sci.* 97: 1634-1644
- Miller-Cushom E.K., DeVries T.J. 2009. Effect of dietary dry matter concentration on the sorting behavior of lactating dairy cows fed a total mixed ration. *J Dairy Sci.* 92(7): 3292-3298.
- Mokoboki H.K., Ndllovu L.R., Malatje M.M. 2011. Intake and relative palatability of acacia species fed to sheep and goats. *Agroforest. Syst.* 81: 31- 35.
- Montgomery D.C. 2004. *Diseño y análisis de experimentos*. 2ª edición. Limusa Wiley, México, D.F.
- Morand F.P. 2003. Dietary choices of goats at the trough. *Small Ruminant Res.* 49: 231- 239.
- Morfin L.L. 2016. *Bromatología. Manual de laboratorio*. FESC. UNAM.
- Mosier N., Wyman C.E., Dale B.E., Elander R., Lee Y.Y., Holtzaple M.T., Ladisch M. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresour Technol.* 96:673–86.
- Muñoz F. 2011. *Producción, valor nutricional y aprovechamiento del rastrojo de maíces nativos en la región de Libres-Serdán, Puebla, México (tesis de maestría)*. [En línea]. Colegio de Postgraduados. Disponible en: [<http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/602>]
- Muñoz F., Joy M., Faci R., Alibés X. 1991. Treatment of ligno-cellulosic residues with urea. Influence of dosage, moisture, temperature and addition of ureases. *Annales Zoot.*, 40: 215-225.
- Muñoz T.F., Guerrero R.J., López P., Muñoz G.A., Lopez S.H., Ortiz T.E., Hernandez G.A., Taboada G.O., Vargas L.S., Valadez R.M. 2013. Producción, valor nutricional y aprovechamiento del rastrojo de maíces nativos en la región de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista México Ciencia Pecuaria*, 4 (4): 515-530.
- Nagwani M. 1992. Calcium hydroxide pretreatment of biomass. MS thesis, Texas A&M University, College Station, TX.
- Ngwa T.A., Nsahlai I.V., Bonsi M.L.K. 2003. Feed intake and dietary preferences of sheep and goats offered hay and legume- tree pods in South Africa. *Agroforestry Syst*, 57: 29- 37.
- Nolte E.M., Cline J.H., Dehority B.A., Loerch S.C., and Parker C.F. 1987. Treatment of wheat straw with alkaline solutions prepared from wood ashes to improve fiber utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 64: 669-677.
- Ololade G.B., Mowat N.D., Winch E.J. 1970. Effect of processing methods on the in vitro digestibility of sodium hydroxide treated roughages. *Canadian J. Anim. Sci.*, 50: 657-662.

- Osuga I.M., Wanbui C.C., Abdulrazak S.A., Ichinone T., Fujihara T. 2008. Evaluation of nutritive value and palatability by goats and sheep of selected foliages from semiarid area of Kenya. *J. Anim. Sci.*, 79: 582- 589.
- Personius T.L., Wambolt C.L., Stephens J.R., Kelsey R.G. 1987. Crude terpenoid influence on mule deer preference for sagebrush. *J. Range Manage.* 40: 83- 93.
- Provenza F.D. 1996. Acquired aversions as the basis for varied diets of ruminants foraging on rangelands. *J. Anim. Sci.* 74: 2010- 2020.
- Provenza F.D., Scott C.B., Phy T.S., Lynch J.J. 1996. Preference of sheep for foods varying in flavors and nutrients. *J. Anim. Sci.*, 74: 2355- 2361.
- Quaranta A., D'Alessandro A.G., Frate A., Colella G.E., Martemucci G., Casamassima D. 2006. Behavioural response towards twelve feedstuffs in lambs. *Small Ruminant Res.* 64:60-66.
- Ramírez A. M. y Volke H. V. 1999. Estratificación del potencial productivo del maíz en la región oriente del estado de Tlaxcala. *Terra.* 17: 131-138.
- Ramírez C. C.R., Alonso G.M.S., Rigal L. 2012. Valorización de residuos agroindustriales del tequila para la alimentación de rumiantes. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18 (3): 449-457.
- Ramírez G.R., Aguilera G.G., García D.G., Núñez G.A.M. 2007. Effect of urea treatment on chemical composition and digestion of *Cenchrusciliaris* and *Cynodon dactylonhays* and *Zea mays* residues. *J. Anim. Vet. Adv.* 6(8): 1036-1041.
- Rapisarda T., Mereu A., Cannas A., Belvedere G., Licitra G., Carpino S. 2012. Volatile organic compounds and palatability of concentrates fed to lambs and ewes. *Small Ruminant Res.* 103: 120- 132.
- Reilly M., Dinsdale R., Guwy Alan. 2015. Enhanced biomethane potential from wheat straw by low temperature alkaline calcium hydroxide pre treatment. *Bioresour Technol* 189: 258-265.
- Reyes M.L., Camacho V., Tania C. y Guevara H.F. (Coords.). 2013. Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México.
- Sánchez A.E.; Ortega C.M.E.; Mendoza M.G., Montañez V.O., Buntinx, D.S.E. 2012. Rastrojo de maíz tratado con urea y metionina. *Interciencia*, 37(5): 395-399.
- Saruklong, C. J. W.; Cone, W. P. and Hendriks, W. H. 2010. Utilization of rice straw and different treatments to improve its feed value for ruminants: A review. *Asia-Australia. J. Anim. Sci.*, 23:680-692.

- Scott C.B., Banner R.E., Provenza F.D. 1996. Observations of sheep foraging in familiar and unfamiliar environments: familiarity with the environment influences diet selection. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 49: 165- 171.
- Scott L.L. y Provenza F.D. 1999. Variation in food selection among lambs: Effects of basal diet and foods offered in a meal. *J. Anim. Sci.*, 77: 2391- 2397.
- Shanahan F., Smith D.H., Stanton T.L. and Horn B.E. 2010. Crop Residues for Livestock Feed. *Crop Series Production*. [En línea]. Collins, Colorado. Colorado State University. Disponible en: [http://extension.oregonstate.edu/gilliam/sites/default/files/Crop_Residue_for_Livestock_Feed.pdf]
- Shimada A. 2009. *Nutrición Animal*, Trillas, México.
- Shreck A.L, Nuttelman B.L, Harding J.L, Griffin W.A, Erickson G.E, Klopfenstein T.J, Cecava M. J. 2015. Digestibility and performance of steers fed low-quality crop residues treated with calcium oxide to partially replace corn in distillers grains finishing diets. *J. Anim. Sci.*, 93:661–671.
- SIAP. 2014. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en: [<http://www.siap.gob.mx>]
- Sirohi S.K., Rai S.N. 1998. Optimisation of treatment conditions of wheat straw with lime: Effect of concentrations, moisture content and treatment time on chemical composition and in vitro digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 74: 57-62.
- Sola O.D., Torrallardona D., Pérez J.F. 2012. Influencia de la percepción sensorial sobre el consumo voluntario en lechones: palatabilidad de las materias primas en piensos de iniciación. XXVIII Curso de Especialización FEDNA. Madrid.
- Solla G. F., Rodríguez S. R., Merino A. 2001. Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.*, 16 (3).
- Souza O., Cañeque M.V.E. Guía L.E. 2001. Efecto del tratamiento sobre el valor nutritivo de la paja tratada por urea. *Arch. Zootec.* 50 (191): 343-353.
- Souza, O. 2001. Tratamento de subprodutos e resíduos agropecuários com solução de uréia. Livraria e Editora Agropecuária. Guaíba.
- Staniforth A.R. 1986. Paja de cereales. Primera edición. Acribia. Zaragoza, España.
- Stehr W. (2015). Alimentos complementarios para la producción de carne. CENEREMA-UACH [consultado 3 Febrero 2016] Disponible en:

<http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/NUTRICION/TEORICOS/Tema%202.%20Material%20de%20lectura.%20Alimentos.%20Generalidades.pdf>

- Sudana I.B., 1987. Australian- Asian Fibrous Agricultural Residues Research Network: Workshop Ruminant Feeding Systems Utilizing Fibrous Agricultural Residues. 7 th. Chiang Mai University.
- Sun Y. y Cheng J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresour Technol*, 83:1-11.
- Suttie J.M. 2003. Conservación de heno y paja para pequeños productores y en condiciones pastoriles. FAO, Producción y protección vegetal N° 29. FAO, Roma, Italia.
- Téllez L.S.J., Bustos V.M.G. 2007. Aprovechamiento biotecnológico de productos agropecuarios 1. 1° edición. Plaza y Valdés Editores. México.
- Tilley J.M., Terry R.A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass Forag. Sci.* 10 (2): 104-111
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74 (10): 3583- 3597.
- Villegas M., Meneses M., Loera O., González S.S., Miranda A.L. 2010. Estudio de la composición nutrimental de la paja de sorgo tratada con *Trametes sp. EUM1* y *Pleorotus sapidus*. XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. VII Simposio Internacional de Producción de Alcoholes y Levaduras.
- Wang Z., Keshwani R.D., Redding P.A., Cheng J.J. 2008. Alkaline pretreatment of *Coastal Bermudagrass* for bioethanol production. Conference Presentations and White Papers: Biological Systems Engineering Paper 38. Yescas Y.R., Bárcena G.R., Mendoza M.G.D., Gonzalez M.S.S., Cobos P.M., Ortega C.M.E. 2004. Digestibilidad *in situ* de dietas con rastrojo de maíz o paja de avena con enzimas fibrolíticas. *Agrociencia.* 38: 28-31.
- Wolfe D.H. 1996. Química general, orgánica y biológica. Segunda edición. Wolfe D.H. McGraw Hill, México DF.
- Yescas Y.R., Bárcena G.R., Mendoza M.G.D., González M.S.S., Cobos P.M., Ortega C.M.E. 2004. Digestibilidad *in situ* de dietas con rastrojo de maíz o paja de avena con enzimas fibrolíticas. *Agrociencia.* 38: 28-31.
- Yo T., Siegel P.B., Guerin H., Picard M. 1997. Self – selection of dietary protein and energy by Broilers grown under a tropical climate: effect of feed particle size on the feed choice. *Poultry Sci*, 76: 1467- 1473.