



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## **CAMPUS PUEBLA**

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

### **MEJORAMIENTO DEL CONSUMO DE RASTROJO DE MAÍZ POR RUMIANTES COMO ESTRATEGIA PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN ANIMAL**

**LIZ SARAHY PÉREZ MARTELL**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**DOCTORA EN CIENCIAS**

PUEBLA, PUEBLA

2021

La presente tesis, titulada: **Mejoramiento del consumo de rastrojo de maíz por rumiantes como estrategia para aumentar la producción animal** realizada por la alumna: **Liz Sarahy Pérez Martell**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:


DOCTORA EN CIENCIAS

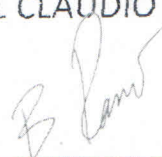
ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

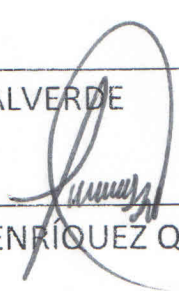
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:   
DR. JUAN DE DIOS GUERRERO RODRÍGUEZ

ASESOR:   
DR. EFRAÍN PÉREZ RAMÍREZ

ASESOR:   
DR. DANIEL CLAUDIO MARTÍNEZ CARRERA

ASESOR:   
DR. BENITO RAMÍREZ VALVERDE

ASESOR:   
DR. JAVIER FRANCISCO ENRÍQUEZ QUIROZ

Puebla, Puebla, México, 8 de junio del 2021

## MEJORAMIENTO DEL CONSUMO DE RASTROJO DE MAÍZ POR RUMIANTES COMO ESTRATEGIA PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN ANIMAL

Liz Sarahy Pérez Martell, Dra.  
Colegio de Postgraduados, 2021

Los sistemas de producción de rumiantes en zonas rurales normalmente consumen rastrojo de maíz para mantenerse en épocas de estiaje, principalmente en el otoño, invierno y primavera, cuando se escasea el forraje verde. Sin embargo, el rastrojo en términos de calidad tiende a ser bajo, pero existen variaciones entre genotipos, lo cual puede aprovecharse para mejorar su consumo en la época crítica. Adicionalmente, por la selectividad del animal una proporción del rastrojo se desperdicia, por lo que su consumo requiere ser más eficiente. Se evaluaron tres cultivares de maíz (dos criollos y un híbrido) en términos de composición química y se cuantificaron las preferencias por ovinos al aplicar diferentes tratamientos de presentación, saborizantes y colonización del rastrojo por el micelio del hongo medicinal *Ganoderma lucidum*. Se produjo el rastrojo de las tres variedades en condiciones de temporal. Las tres variedades se ofrecieron por separado a cada animal en las presentaciones de planta entera, picado y molido. Dado que en la presentación de picado se tuvo la mayor preferencia, se le adicionó al rastrojo picado por separado, sales minerales, melaza, amonificado, jugo de alfalfa y rastrojo colonizado por el micelio de *G. lucidum*. Se realizaron las pruebas de preferencia con siete ovinos hembras por tratamiento, con peso de 30 kg  $\pm$  2 kg, tres veces al día, por cinco días para cada tratamiento. Se determinó en laboratorio la concentración de fibras, digestibilidad *in vitro* y proteína cruda. En el estado entero de la planta, los animales tuvieron mayor preferencia en el consumo del rastrojo de los cultivares criollos en comparación con el híbrido; sin embargo, en el estado picado y molido no se observó preferencia por algún cultivar. Los animales tuvieron preferencia en el consumo del rastrojo de maíz picado sin importar el cultivar, cuando se adicionó un licuado de alfalfa. El de menor preferencia fue el rastrojo amonificado. El rastrojo colonizado por el micelio de *G. lucidum* no mejoró la digestibilidad *in vitro*, ya que incrementó la concentración de fibras, pero aumentó la concentración de proteína cruda. Se detectó que existe preferencia por el rastrojo ciertos cultivares, pero al modificar la presentación tal preferencia se pierde. Así mismo se observa que hay preferencia por ciertos tratamientos saborizantes.

Palabras clave: calidad nutritiva, *Ganoderma*, pruebas de cafetería, saborizantes.

## IMPROVING THE INTAKE OF MAIZE STUBBLE BY RUMINANTS AS A STRATEGY TO INCREASE ANIMAL PRODUCTION

Liz Sarahy Pérez Martell, Dr.  
Colegio de Postgraduados, 2021

Ruminants in rural areas normally consume maize stubble to sustain themselves, a situation that occurs during critical seasons, mainly in the fall, winter and spring, when green forage is scarce. Stubble in terms of quality tends to be low, but there are variations between genotypes, which can be used to improve its consumption in critical times. Additionally, due to the selectivity of the animal, a proportion of the stubble is wasted, so its consumption requires efficiency. Three cultivars of maize (two creoles and one hybrid) were evaluated in terms of chemical composition and, preferences for sheep were quantified by applying different presentation treatments, flavorings, as well as inoculation and complete colonization of the stubble by the mycelium of the medicinal mushroom *Ganoderma lucidum*. The stubble of the three cultivars was produced under rainfed conditions. The three cultivars were offered separately to each animal in the physical state of the whole plant, chopped and grounded. Since the chopped presentation had the highest preference, to this stubble presentation was added flavors of mineral salts, molasses and alfalfa juice, as well as the ammoniation with urea and stubble colonized by the mycelium of *G. lucidum*. Preference tests were carried out with seven female sheep per treatment, weighing  $30 \text{ kg} \pm 2 \text{ kg}$ , three times a day, for five days for each treatment. Fiber concentration, *in vitro* digestibility, and crude protein were determined. In the presentation of whole plant, the animals had higher intake of the stubble of the creole cultivars than the hybrid; however, in the chopped and ground presentations, no preference for any cultivar was found. The animals had greater intake of chopped maize stubble regardless the cultivar when an alfalfa smoothie was added. The least preferred was the ammonified stubble. The stubble colonized by the mycelium of *G. lucidum* had a medium consumption and did not improve the *in vitro* digestibility because the fiber concentration increased, but improved the crude protein concentration. It is detected that there is a preference for the stubble of certain cultivars, but when the presentation is modified, this preference is lost. Likewise, it was observed that there is a greater preference for certain flavoring treatments.

Key words: nutritional quality, cafeteria tests, flavorings, *Ganoderma*.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Juan de Dios Guerrero Rodríguez por apoyarme durante todo el proceso que se llevó en esta investigación, por tener tanta paciencia, por su disposición, tiempo, orientación, comprensión, asesoría y amistad.

A los integrantes del Consejo Particular, Dr. Daniel Claudio Martínez Carrera, Dr. Benito Ramírez Valverde, Dr. Efraín Pérez Ramírez, Dr. Javier Francisco Enríquez Quiroz por el apoyo y la asesoría durante cada cuatrimestre.

Al Colegio de Postgraduados, *Campus Puebla*, por abrirme las puertas y darme la atención en todo momento para obtener el grado de Doctorado en Ciencias en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo para realizar el proyecto de investigación.

A la Línea de generación y/o aplicación del conocimiento del programa LGAC 2: Aprovechamiento y manejo de sistemas agroalimentarios y recursos naturales para el desarrollo rural sostenible.

Al Lic. Jorge Rugeiro por brindarme su tiempo, paciencia, disposición, amistad y conocimiento de manera incondicional.

A la Dra. Mercedes Sobal Cruz, por apoyarme para avanzar en mi proyecto.

Al Dr. Arahón Hernández Guzmán por su tiempo y asesoría.

A la M.C. Yanet López Reyes por todo el apoyo que me brindó en mi trabajo de laboratorio.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>IV. OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
4.1 General.....	5
<b>V. HIPÓTESIS.....</b>	<b>6</b>
<b>VI. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>7</b>
6.1 Producción de rastrojo de maíz en México.....	7
6.2 Importancia del rastrojo de maíz para los sistemas de producción de rumiantes.....	7
6.3 Valor nutricional del rastrojo de maíz.....	9
6.4 Mecanismos que controlan el consumo alimenticio en rumiantes.....	10
6.5 Regulación del comportamiento alimenticio mediante el sistema homeostático.....	11
6.6 Señales estimuladoras del consumo de alimento.....	13
6.7 Señales inhibitorias del consumo de alimento.....	13
6.8 Regulación del comportamiento alimenticio mediante el sistema de recompensa.....	15
6.9 Integración de señales que controlan el hambre y la saciedad en rumiantes.....	16
6.10 Aprovechamiento del rastrojo de maíz para alimentación en rumiantes.....	17
6.11 Algunos tratamientos aplicados al rastrojo de maíz.....	21

6.11.1	Amonificación.....	21
6.11.2	Tratamiento con melaza.....	22
6.11.3	Tratamientos físicos.....	23
<b>6.12</b>	<b>Tratamientos biológicos con hongos comestibles.....</b>	<b>24</b>
<b>VII.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
<b>7.1</b>	<b>Área de estudio.....</b>	<b>30</b>
<b>7.2</b>	<b>Selección del cultivar de maíz.....</b>	<b>30</b>
<b>7.3</b>	<b>Preparación del terreno y siembra.....</b>	<b>30</b>
<b>7.4</b>	<b>Seguimiento de la siembra.....</b>	<b>31</b>
7.4.1	Registro de temperatura y milímetros de lluvia.....	31
7.4.2	Floración masculina y femenina al 50%.....	31
7.4.3	Cosecha.....	31
7.4.4	Producción de rastrojo de maíz por cultivar.....	31
<b>7.5</b>	<b>Tratamiento de rastrojo con el hongo <i>Ganoderma lucidum</i>.....</b>	<b>32</b>
<b>7.6</b>	<b>Composición química del rastrojo de maíz.....</b>	<b>34</b>
7.6.1	Análisis de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA).....	33
7.6.2	Determinación de lignina.....	34
7.6.3	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS).....	34
7.6.4	Análisis de contenido de proteína cruda (PC).....	35
<b>7.7</b>	<b>Pruebas de aceptabilidad de rastrojo de maíz en rumiantes.....</b>	<b>36</b>
<b>7.8</b>	<b>Diseño experimental.....</b>	<b>37</b>
<b>7.9</b>	<b>Análisis estadístico.....</b>	<b>38</b>
<b>VIII.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
<b>8.1</b>	<b>Registro de temperatura y milímetros de lluvia.....</b>	<b>40</b>
<b>8.2</b>	<b>Días al 50% de floración masculina y femenina.....</b>	<b>40</b>
<b>8.3</b>	<b>Determinación de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad <i>in vitro</i> de materia seca (DIVMS) y proteína cruda (PC) según el cultivar de maíz.....</b>	<b>41</b>

8.3.1	Concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina según el cultivar de maíz.....	41
<b>8.4</b>	Concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad <i>in vitro</i> de materia seca (DIVMS) y proteína cruda (PC) según el cultivar de maíz y colonización con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>42</b>
<b>8.5</b>	Pruebas de aceptabilidad y preferencia en el consumo del rastrojo de maíz por rumiantes.....	<b>51</b>
8.5.1	Preferencia de consumo por presentación física del rastrojo de maíz.....	51
8.5.2	Preferencia de consumo por tratamiento de sabor al rastrojo de maíz.....	52
<b>IX.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>54</b>
<b>9.1</b>	Climograma.....	<b>54</b>
<b>9.2</b>	Días al 50% de floración masculina y femenina.....	<b>54</b>
<b>9.3</b>	Determinación de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) y contenido de proteína cruda (PC).....	<b>55</b>
9.3.1	Concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina según el cultivar de maíz.....	55
<b>9.4</b>	Concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad <i>in vitro</i> de materia seca (DIVMS) y proteína cruda (PC) según el cultivar de maíz y colonización con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>56</b>
<b>9.5</b>	Pruebas de aceptabilidad y preferencia en el consumo del rastrojo de maíz por rumiantes.....	<b>59</b>
9.5.1	Preferencia de consumo por presentación física del rastrojo de maíz.....	59
9.5.2	Preferencia de consumo de acuerdo al genotipo de maíz y al tratamiento de sabor.....	61



<b>X.</b>	<b>CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS</b>	<b>63</b>
<b>XI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>XII.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>64</b>

## LISTA DE FIGURAS

		<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b>	Patrón temporal esperado de señales estimuladoras (orexigénicas) e inhibitorias (anorexigénicas) en el intervalo entre comidas (a) y (b).....	<b>12</b>
<b>Figura 2.</b>	Rastrojos colonizados con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>33</b>
<b>Figura 3.</b>	Determinación de fibras y digestibilidad.....	<b>35</b>
<b>Figura 4.</b>	Preparación de rastrojo para pruebas de preferencia	<b>37</b>
<b>Figura 5.</b>	Climograma registrado durante el periodo experimental del cultivo de maíz.....	<b>39</b>
<b>Figura 6.</b>	Producción de rastrojo de maíz.....	<b>40</b>
<b>Figura 7.</b>	Concentración de fibra detergente neutro (FDN) en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>43</b>
<b>Figura 8.</b>	Concentración de fibra detergente ácido (FDA) en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>45</b>
<b>Figura 9.</b>	Concentración de lignina en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>47</b>
<b>Figura 10.</b>	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>49</b>
<b>Figura 11.</b>	Proteína cruda (PC) en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con <i>Ganoderma lucidum</i> .....	<b>50</b>
<b>Figura 12.</b>	Consumo total de rastrojo por cultivar de maíz y por presentación física de la planta.....	<b>52</b>
<b>Figura 13.</b>	Preferencia de consumo por cultivar de maíz y por tratamiento de sabor.....	<b>53</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b> Valor nutricional del rastrojo de maíz presentado en diferentes estudios.....	<b>9</b>
<b>Tabla 2.</b> Niveles de consumo voluntario en ovinos con rastrojo de maíz con tratamientos de amonificado y suplementos de urea.....	<b>22</b>
<b>Tabla 3.</b> Consumo de rastrojo de maíz con diferentes tratamientos.....	<b>24</b>
<b>Tabla 4.</b> Pérdida de nutrientes en proceso de esterilización de rastrojo de maíz colonizado con hongos.....	<b>25</b>
<b>Tabla 5.</b> Composición nutricional del rastrojo de maíz colonizado con <i>Pleurotus spp.</i> .....	<b>26</b>
<b>Tabla 6.</b> Composición nutricional del rastrojo de maíz colonizado con <i>Phaerochaete chrysosporium</i> , <i>Aspergillus niger</i> y <i>Trichoderma viride</i> .....	<b>27</b>
<b>Tabla 7.</b> Promedios de los días de floración masculina (DFM) y días de floración femenina (DFF) por cultivar de maíz.....	<b>40</b>
<b>Tabla 8.</b> Promedios de concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina en tres cultivares de maíz.....	<b>41</b>

## I. INTRODUCCIÓN

Los rastrojos son subproductos de la producción de cultivos, principalmente cereales, los cuales son utilizados en la alimentación para rumiantes. El más utilizado en México, es el del maíz, del que se producen alrededor de 28.1 millones de toneladas por año (Hellin *et al.*, 2013) y donde el 85% es consumido en época de escasez como esquilmo por falta de forraje verde (Borja, 2013). Así mismo, de este rastrojo, alrededor del 32% es consumido en pastoreo directo en las parcelas de producción y el resto se ofrece al ganado principalmente en estabulación, ya que el forraje se almacena en pacas o a granel (Borja, 2013).

Sin embargo, el ganado es extraordinariamente selectivo en el consumo de rastrojo y se pueden tener rechazos, principalmente de tallos, disminuyendo la eficiencia de su aprovechamiento. Arellano *et al.* (2016), al trabajar con bovinos que se les ofrecía rastrojo de maíz, simulando pastoreo (sin picar), observaron que los porcentajes del consumo de los componentes del rastrojo a los 30 días de alimentar a los rumiantes, difirieron de acuerdo con la parte consumida. El consumo del grano y de la hoja seca fue de 95.5% y 96.3%, respectivamente; mientras que el tallo representó tan sólo 26.17% (Arellano *et al.*, 2016). Methu *et al.* (2001) encontraron que el consumo de las hojas del rastrojo de maíz fue en una proporción 2 a 1 respecto al tallo. Esto refleja en cierta medida las preferencias de los animales en el consumo de las partes de las plantas. Por tanto, lo anterior conlleva a buscar opciones que ayuden a que se mejore el consumo de rastrojo, especialmente de los tallos, puesto que el molido de los mismos implica aumento de costos y uso de maquinaria, con lo que no siempre el productor de bajos ingresos cuenta.

El consumo de forraje depende en cierto grado de cuan digestible sea este; no obstante, para la digestibilidad en rastrojo de maíz se han encontrado casos contradictorios. Por ejemplo, Akbar *et al.* (2002) mencionan que la degradabilidad potencial y la tasa de degradación no varían significativamente en algunos rastrojos de maíces mejorados; sin embargo, Hakl *et al.* (2017) consigna que, el genotipo influye en la digestibilidad, puesto que encontraron variaciones en la digestibilidad del tallo en un intervalo de 261 a 529 g/kg MS.

Se ha tratado de relacionar la preferencia de consumo de forrajes, por parte del animal, con el análisis del valor nutricional de estos; sin embargo, hay evidencias que muestran que dichas preferencias pueden ser innatas o depender de las experiencias nutricionales anteriores que tuvo el animal (Arellano *et al.*, 2016). Aunque regularmente los rumiantes buscan los sabores dulces y evitan los sabores amargos, así como el tamaño de las partículas que ingiere, también tienen que ver con el volumen de consumo (Rinehart, 2008). En ovinos consumiendo rastrojo de maíz, por ejemplo, hay evidencias de que tienen una preferencia hacia el consumo de partículas de 2 cm respecto a las de 1, 3 y 4 cm (Jiménez, 2010). También se ha observado un mayor consumo cuando el rastrojo ha sido sometido a un tratamiento físico como el picado, la molienda, el peletizado y la humectación, en donde se han reportado incrementos de hasta un 50% (González, 2007). Sin embargo, no existen evidencias claras respecto a la preferencia de consumo de rastrojo de maíz en caso de que se modifiquen olores o sabores y sí esto pudiera ser determinante como variante de consumo.

Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue conocer cuál es la preferencia de los rumiantes por el rastrojo entre genotipos de maíz, principalmente comerciales y criollos, así como determinar el efecto de ciertos tratamientos para mejorar el consumo. El propósito es ofrecer a los productores opciones del manejo de rastrojos de maíz para mejorar la producción.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ganado rumiante, de pequeños productores, en zonas rurales normalmente consume rastrojo de maíz para mantenerse. En estos sistemas de producción de subsistencia, prácticamente los animales se deben adaptar a las condiciones existentes, pues por lo regular los productores no prevén los periodos de escasez, ni se complementa el consumo de rastrojo. En la época de escasez, cuando el ciclo biológico del maíz concluyó, la situación se vuelve crítica para el animal, porque al no tener forraje fresco, este trata de consumir lo más suave y apetitoso del rastrojo que se le ofrece, por lo que existe un desperdicio importante de algunas partes de la planta, como son los tallos. Esto a su vez, tiene implicaciones económicas para el productor, quien se vería beneficiado si tuviera alternativas para que los animales consuman uniformemente y en mayor proporción el rastrojo de maíz. Así mismo, con la finalidad de mejorar el aprovechamiento de rastrojo, es pertinente conocer si el animal tiene o no preferencia de consumo al modificar el rastrojo con tratamientos físicos, químicos y biológicos de fácil aplicación en distintos cultivares. Ello se puede lograr al adicionar sabores, tratar el rastrojo con hongos comestibles-funcionales o la molienda de diferente tamaño de partícula que pueden modificar el consumo. Como resultado de la presente investigación, se espera contribuir a mejorar el conocimiento tradicional que existe con relación a la alimentación de rumiantes, a fin de incrementar la eficiencia en el aprovechamiento del rastrojo, que influya positivamente en ganancia de peso del ganado.

### **III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

Las preguntas que surgen de la presente investigación son:

¿Cuál es la preferencia de consumo de rastrojo de maíz que tienen los ovinos en función de la variedad que se utilice?

¿Cuál es la preferencia de consumo de rastrojo de maíz que tienen los ovinos en función del tratamiento que se aplique?

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1 General**

Determinar la preferencia de consumo de rastrojo de maíz en rumiantes según la variedad y el tratamiento que se aplique al rastrojo de cada variedad.



#### **IV. HIPÓTESIS**

La preferencia de los ovinos en el consumo de rastrojo de maíz, está en función de la variedad y del tratamiento aplicado al rastrojo.

## V. REVISIÓN DE LITERATURA

### 6.1 Producción de rastrojo de maíz en México

La cantidad cosechada de rastrojo de maíz es de gran importancia en el sector agropecuario. Según la FAO (2017), la producción de grano de maíz a nivel mundial fue de 1,263 millones de toneladas; de estas, 547 millones de toneladas se produjeron en América, en donde México aportó 28 millones. Se estima que los granos de maíz representan 50 a 53% de la planta y el resto es rastrojo (Macedo 2003; Muñoz *et al.*, 2013; Menardo *et al.*, 2015), dependiendo de las prácticas agrícolas, las condiciones climáticas y el tipo de cultivar. Además, existen estudios sobre la proporción que representan las diferentes partes de la planta; por ejemplo, Sokhansanj *et al.* (2010) afirman que, por cada kg de grano seco de maíz, se producen aproximadamente 0.15 kg de olote, 0.22 kg de hoja, 0.14 kg de brácteas y 0.50 kg de tallo. Zych (2008) encontró valores similares, con un porcentaje ligeramente mayor de mazorcas y hojas, y un menor porcentaje de brácteas y tallos. Con base en ello, según datos de la FAO (2017) y del SIAP-SAGARPA (2017), en 2017 se produjeron en México 28,250,783 toneladas de grano de maíz; por tanto, se asume una producción de rastrojo similar y se calcula que se generan aproximadamente 28 millones de toneladas de rastrojo de maíz al año.

En México, son 10 los estados en donde se concentra la mayor producción de grano de maíz y por tanto de rastrojo. Sinaloa es el principal productor con 6,430,676 de toneladas, seguido de Jalisco con 3,648,069 millones de toneladas y el Estado de México con 2,332,071. Puebla se encuentra en décimo lugar con una producción de 1,061,811 toneladas de grano (SAGARPA-SIAP, 2017); si se asume que el grano a la venta tiene 14% de humedad, en este estado se estarían produciendo 913,157 toneladas de rastrojo.

### 6.2 Importancia del rastrojo de maíz para los sistemas de producción de rumiantes

El rastrojo de maíz es una fuente de forraje importante durante la época seca, ya que puede aportar hasta 40% de la disponibilidad de forraje (Beuchelt *et al.*, 2015), y llega a constituir, por ejemplo, en México, hasta el 24% de materia seca (MS) del consumo animal (Borja, 2013). En los estados del país, principalmente en aquellos donde las

condiciones de bajas temperaturas (valles altos) o bien condiciones de sequía (trópico seco y zonas áridas) que tienen una población importante de rumiantes, el rastrojo es altamente utilizado. En un estudio realizado por Hellin *et al.* (2013), en diferentes áreas climáticas, áridas, templadas y subhúmedas en México, más del 80% del rastrojo de maíz se consume en pastoreo; el resto se comercializa en pacas, que eleva los costos para los consumidores.

En bovinos se estima un consumo de materia seca (MS) por animal de aproximadamente 3.2% de su peso vivo (INIFAP, 2010; Galaviz *et al.*, 2011), es decir, un bovino que pesa en promedio, 450 kg, consume una cantidad aproximada de 14.4 kg de MS. A su vez, un ovino o caprino consume aproximadamente 3% de MS con relación a su peso, lo que representa un consumo de 1.62 kg de MS si el peso del animal es de 54 kg, en promedio (INIFAP 2010; Galaviz *et al.* 2011). Lo anterior evidencia la importancia de la producción de rastrojo para el consumo animal, tomando en cuenta que este es parte de la alimentación básica que utilizan los ganaderos. En específico, el rastrojo de maíz es un ingrediente importante de la dieta de los rumiantes en los principales sistemas de producción; y al respecto se menciona la necesidad de generar variedades que produzcan más rastrojo, siempre y cuando este conserve cierta calidad (Muñoz *et al.*, 2013). El empleo del rastrojo como alimento para el ganado agrega valor económico a los productores que lo poseen, principalmente para los casos en que cuentan a la vez con rumiantes en producción (Owen *et al.*, 2005). A estos animales se les considera económicamente redituables y representan gran parte de los ingresos en las familias que poseen tierras de cultivo y ganado. La alternativa más común para alimentarlos es el rastrojo de maíz por ser la cosecha más abundante y económica (Salem y Smith, 2008). Según la USDA (2013), con el rastrojo de maíz se pueden desarrollar estrategias para maximizar la producción de alimentos para animales o servir como alternativa para satisfacer las necesidades de inventarios cuando los rendimientos de los cultivos se ven afectados por el clima adverso u otros desafíos.

### 6.3 Valor nutricional del rastrojo de maíz

El valor nutricional del rastrojo de maíz, como único alimento, es deficiente para las funciones normales del ganado, ya sean reproductivas, de producción o de trabajo; inclusive es muy poco probable que los animales mantengan su peso corporal óptimo (Bowman *et al.*, 1995). No obstante, al ser complementario en la dieta del rumiante, su función es la de proporcionar energía abundante y barata para los rumiantes (Basurto, 2012; López *et al.*, 2017).

Los índices del valor nutricional del rastrojo de maíz se muestran en la Tabla 1. Se reportan valores con promedios de materia seca de 91.6%, 4.98% de proteína cruda, fibra detergente neutro de 75.8% y fibra detergente ácido de 46.18%.

**Tabla 1.** Valor nutricional del rastrojo de maíz presentado en diferentes estudios.

<b>Componente</b>	<b>Intervalo de valores</b>	<b>Autores*</b>
Materia seca (%)	89.2 – 96	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8.
Cenizas (%)	5.6 – 7.5	1, 2, 4, 5, 6.
Proteína cruda (%)	3.2 – 6.1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.
Fibra detergente neutro (FDN) %	64.6 – 89.1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.
Fibra detergente ácido (FDA) %	30.2 – 54.3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.
Lignina	5.2 – 7.9	2, 3, 7.
Digestibilidad <i>in vitro</i> de Materia seca (DIVMS) %	59.4 – 64.6	3, 4, 8.

\*Autores: 1. López *et al.* (2017); 2. Casperson *et al.* (2018); 3. Basurto *et al.* (2012); 4. Fuentes *et al.* (2001); 5. Galina *et al.* (2004); 6. Puga *et al.* (2001); 7. Undi *et al.* (2001); 8. Yescas *et al.* (2004).

#### **6.4 Mecanismos que controlan el consumo alimenticio en rumiantes**

El comportamiento alimenticio derivado de la selección de dietas y el consumo de alimento, es la manera predominante en que un animal trata de cubrir sus requerimientos metabólicos y alcanzar la homeostasis (Ginane *et al.*, 2015). El comportamiento alimenticio ocurre como una consecuencia de la integración de muchos factores que incluyen señales sensoriales, metabólicas y fisiológicas (Baile y McLaughlin, 1987; Zereu y Lijalem, 2016).

De acuerdo con Ginane *et al.* (2015), la fase de iniciación del consumo es cuando los animales toman la decisión de buscar alimento, lo cual podría ser un deseo general para adquirir energía o el deseo específico para un alimento en particular. La siguiente etapa es la fase apetitiva, donde los animales reciben información acerca de uno o varios alimentos presentes sobre la base de sus percepciones sensoriales de visión, olfato y gusto, y entonces tienen la oportunidad de hacer una elección. Esos estímulos pre-ingestivos y el grado con el cual éstos se vinculan, refuerzan la motivación para consumir cada alimento o reducen la probabilidad de que un alimento sea consumido sobre la base de experiencias previas que permiten al animal, vincular las señales sensoriales a los efectos metabólicos (Provenza, 1995). Una vez que el animal se motiva lo suficiente para obtener alimento y las señales pre-ingestivas refuerzan el deseo de consumir, entonces, los procesos ingestivos, digestivos y absortivos comienzan. La llegada de nutrientes y compuestos secundarios a las células en el cuerpo proporcionan un medio por el cual el animal es capaz de evaluar qué tan bien se reúnen sus necesidades nutricionales y se sacia la cantidad de energía o nutrientes particulares requeridos. Esto se conoce como el sistema de regulación homeostática del consumo de alimento (Ginane *et al.*, 2015).

Existe un segundo sistema de regulación de consumo relacionado y conectado al sistema homeostático (Berthoud, 2007), el sistema de recompensa (Berridge, 1996). En este caso, el consumo de alimentos benéficos por el animal es recompensado por retroalimentaciones agradables, y este consumo se refleja en el bienestar del rumiante (Provenza, 199

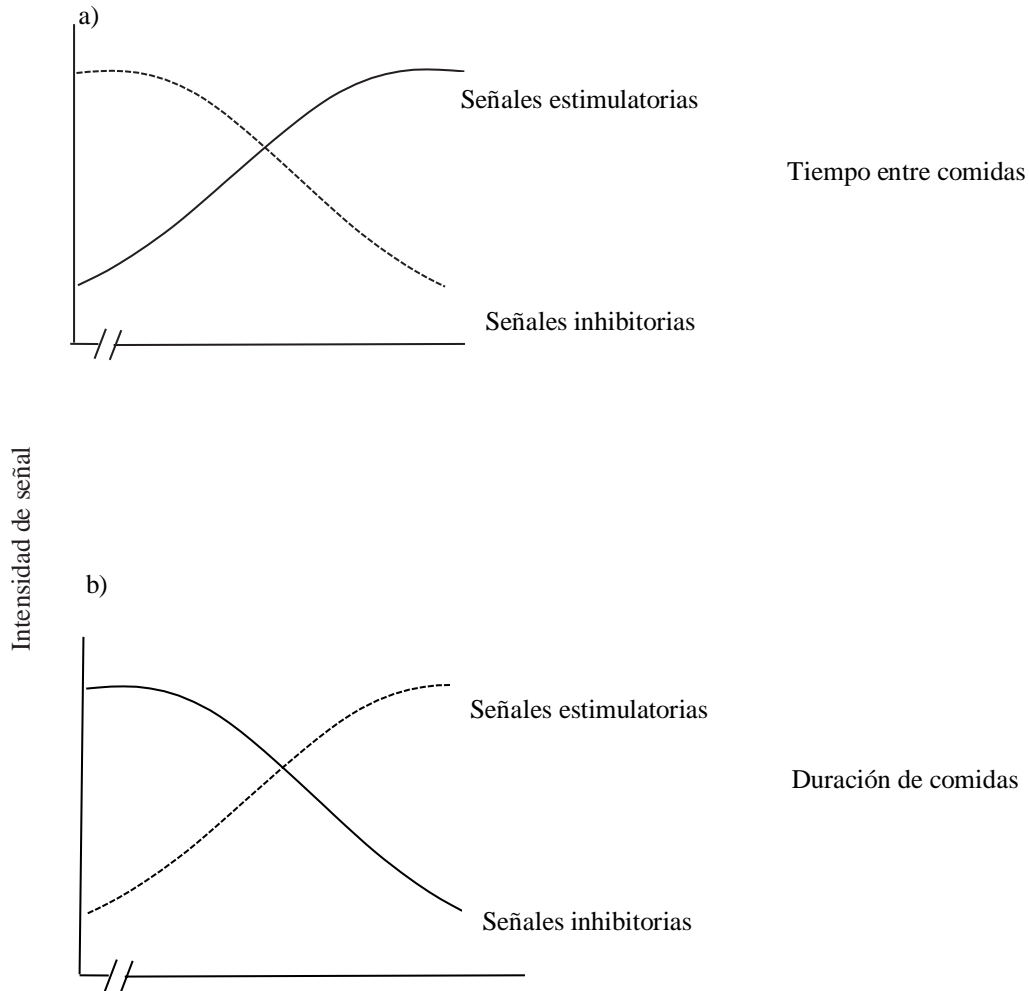
5), lo que a su vez mantiene o incrementa la motivación animal para buscar alimento (Ginane *et al.*, 2015), en un intento de garantizar la ingestión de alimentos altamente nutritivos (Berthoud, 2011).

### **6.5 Regulación del comportamiento alimenticio mediante el sistema homeostático**

El comportamiento alimenticio es determinado por la integración de señales periféricas y centrales en los puntos de alimentación del cerebro. Estas incluyen señales estimuladoras (orexigénicas) que incrementan el hambre, así como señales inhibitorias (anorexigénicas) que incrementan la saciedad (Ginane *et al.*, 2015). La iniciación del hambre surge cuando las señales inhibitorias de alimentos previos disminuyen y las señales estimuladoras incrementan. Inversamente, la alimentación continúa hasta que las señales inhibitorias se intensifican y las señales estimuladoras disminuyen (Figura 1).

Esas señales obtienen acceso al cerebro e inducen respuestas neuroendocrinas que regulan la ingesta de alimento, el gasto y el balance de energía (regulación homeostática) (Ginane *et al.*, 2015; Fetissov, 2017). Varios factores sensoriales, sociales, circadianos y habituales contribuyen a estimular la alimentación; sin embargo, la iniciación del consumo depende del estatus de energía del animal en algún momento específico (Friedman, 1997). Weston (1996) sugirió que la intensidad de las señales del hambre está linealmente relacionada con la magnitud del déficit de energía en el animal.

En la Figura 1 se ejemplifica que las señales inhibitorias de la distensión ruminal, la osmolalidad y la oxidación de los combustibles disminuyen gradualmente después del consumo, y aumentan durante el consumo. Las señales estimuladoras relacionadas con el estado de bajo consumo de energía, aumentan preprandialmente y disminuyen durante el consumo de alimento (Allen, 2014).



**Figura 1.** Patrón temporal esperado de señales estimulatorias (orexigénicas) e inhibitorias (anorexigénicas) en el intervalo entre comidas (a) y (b) (Allen, 2014).

Por otra parte, se ha indicado que el comportamiento alimenticio es afectado por la oxidación de los llamados “combustibles” (ácidos grasos no esterificados, aminoácidos, lactato, glicerol y propionato) en el hígado del animal. Las señales a los centros de alimentación al cerebro son vía aferentes hepáticos vagales (Allen, 2014). De este modo, las señales del hígado pueden ser estimulatorias e inhibitorias, dependiendo de la tasa de activación de los aferentes vagales; dicha activación se incrementa conforme el estatus de energía se reduce, estimulando la alimentación, y disminuye conforme el estatus de energía incrementa, inhibiendo la alimentación (Friedman, 1997). Una vez que

disminuye el suministro de combustibles absorbidos, es probable que la oxidación hepática disminuya, lo que disminuye el estado de la energía hepática y aumenta la activación de los aferentes vagales hepáticos, estimulando el hambre (Allen, 2014).

El hígado es un órgano anabólico clave que detecta el estatus de energía corporal debido a que a él llegan los suministros de combustibles extraídos de la vena porta y de la circulación en general (Allen y Bradford, 2012; Allen, 2014). Las señales del hígado y otras señales periféricas son transmitidas a los centros de alimentación cerebral por nervios sensoriales e integradas con aquellas que tienen efectos centrales directos en el hipotálamo, concretamente en las regiones del hipotálamo lateral e hipotálamo ventromedial (Baile y Mc Laughlin, 1987; Allen, 2014).

## **6.6 Señales estimulatorias del consumo de alimento**

La ghrelina, un péptido circulante secretado principalmente por células del abomaso en rumiantes, es una de las muchas moléculas descubiertas para estimular el consumo de alimento (Hayashida *et al.*, 2001), pero es la única hormona descubierta que estimula la iniciación del consumo de alimento. La concentración de este péptido incrementa en rumiantes antes del inicio del consumo, mientras que las concentraciones periprandiales de ésta, disminuyen a medida que la frecuencia de la alimentación incrementa (Sugino *et al.*, 2002). La ghrelina es una señal de insuficiencia energética y depende del balance energético corporal (Wertz-Lutz *et al.*, 2006). La ghrelina puede tener efectos a largo plazo sobre la ingesta del alimento a través de sus efectos como secretagogo de la somatotropina, la cual aumenta el crecimiento y el rendimiento de la lactancia de los rumiantes (Allen y Bradford, 2012).

## **6.7 Señales inhibitorias del consumo de alimento**

De acuerdo con Allen (2014), las señales inhibitorias incluyen aquellas relacionadas con la distensión y osmolalidad del rumen, los péptidos intestinales (p. ej. la colecistoquinina (CCK) y el glucagón similar al péptido 1 (GLP-1)), las hormonas pancreáticas (p. ej. insulina, glucagón y amilina) y adipocinas (p. ej. la leptina), así como la detección específica de nutrientes por parte del sistema nervioso central. La distensión física del



rumen a menudo limita la ingesta de alimento en los rumiantes. Los receptores de tensión ubicados principalmente en el retículo y el saco craneal responden a la distensión, señalando a los centros de alimentación cerebral a través de aferentes vagales (Allen, 2014).

Los péptidos del intestino (CCK y GLP-1) son secretados en el intestino delgado en respuesta a diferentes nutrientes en el quimo y se han relacionado con la disminución del vaciamiento gástrico, el aumento del tiempo de retención en el rumen y el aumento de la liberación de enzimas digestivas, mejorando potencialmente la digestibilidad (Allen, 2014). Sin embargo, el aumento de la retención de la digesta aumenta la distensión, disminuyendo así, la ingesta de alimento. Además, la CCK tiene efectos neuronales a través de la activación de neuronas aferentes vagales o esplénicas que transmiten una señal inhibitoria a los centros de alimentación del cerebro (Reidelberger, 1994).

Por otra parte, los sensores de nutrientes específicos podrían actuar centralmente para contribuir a la saciedad. Al respecto, se han sugerido varios metabolitos que obtienen señales anorexigénicas centrales los cuales incluyen ácidos grasos no esterificados (NEFA), ácido betahidroxibutírico (BHBA), glucosa, glutamina y otros aminoácidos (Allen y Bradford, 2012). Por su parte, Laeger *et al.* (2016) demostraron que la restricción de la alimentación de las vacas durante la mitad de lactancia disminuyó las concentraciones de serina, treonina y tirosina en el líquido cefalorraquídeo, lo que sugiere que estos aminoácidos también podrían actuar de manera central como señales anorexígenas en rumiantes. De igual manera, los nutrientes digeridos después del consumo, estimulan la liberación de varias hormonas anoréxicas a medida que pasan secuencialmente a través del intestino delgado. Estas hormonas tienen diversas funciones que incluyen reducir la motilidad ruminal, aumentar el tiempo de retención del rumen, y por tanto, el tiempo de la distensión del mismo, estimulando la secreción de enzimas digestivas y hormonas anabólicas por el páncreas, estimulando centralmente la saciedad del animal (Allen, 2014).

## **6.8 Regulación del comportamiento alimenticio mediante el sistema de recompensa**

El sistema de recompensa del alimento es un proceso complejo relacionado al sistema homeostático. Este involucra tres componentes fisiológicos y funcionales: a) el deseo (motivación incentiva), que corresponde al valor motivacional del alimento para el cual el animal está dispuesto a probar; b) el gusto (impacto hedónico), que corresponde a los placeres sensoriales del alimento y este puede estar vinculado al afecto (p. ej. sentimientos o emoción) y a la palatabilidad la cual es influenciada por consecuencias post-ingestivas (Provenza, 1995); y c) el aprendizaje, el cual permite que un estímulo que inicialmente puede ser neutral se convierta en una señal que actúe como un predictor de recompensa y, por tanto, como un incentivo para orientar conductas adicionales basadas sobre experiencias del animal en el consumo (Flagel *et al.*, 2011).

Los componentes “deseo y querer” del sistema de recompensa involucran diferentes sustratos del cerebro y vías neuroquímicas. El primero, implica principalmente vías dopaminérgicas y el segundo, incluye vías opioides y cannabinoides (Berridge, 2009; Pénicaud *et al.*, 2012). Al respecto, la dopamina, neurotransmisor presente en el sistema nervioso central (SNC), tiene un rol clave al convertir un evento conductual del animal en circuitos neuronales en los que el animal adquiere la capacidad de captar la atención, obtener orientación y enfoque, y así, crear estrategias cognitivas para querer, buscar y obtener alimento (Volkow *et al.*, 2011).

Las propiedades hedónicas del alimento (componente del gusto) parecen estar relacionadas principalmente a los neurotransmisores opioides, cannabinoides y ácido gamma-aminobutírico presentes en el SNC y el tracto gastrointestinal (Berridge, 2009).

Por su parte, el componente aprendizaje se relaciona con una plasticidad que involucra representaciones cerebrales de nueva información obtenida del ambiente externo e interno (Dukas, 2013). El aprendizaje permite a los animales explotar mejor las características ambientales mediante un ajuste de actividad continua sobre la base de la experiencia acumulada. De esta manera, el comportamiento alimenticio no es solamente

formado por necesidades homeostáticas sino también por características sensoriales de los alimentos y recompensas asociadas a su consumo (Ginane *et al.*, 2015).

### **6.9 Integración de señales que controlan el hambre y la saciedad en rumiantes**

De acuerdo a lo consignado por varios autores (Baile y McLaughlin, 1987; Ginane *et al.*, 2015; Fetissov, 2017), el hipotálamo es un área del cerebro asociado con el consumo de alimento. Según estos autores, en el cerebro, el área lateral (LH) y ventromedial (VMH) del hipotálamo son las regiones principales que involucran el hambre y la saciedad, respectivamente. Estas áreas junto al núcleo arcuato del hipotálamo son los encargados de regular el consumo alimenticio de los rumiantes. El núcleo arcuato posee dos poblaciones neuronales, de las cuales, una población de neuronas (orexigénicas) que al ser estimuladas provocan hambre y otra (anorexigénicas) que al ser estimuladas provocan saciedad. De acuerdo a los autores citados, ambos tipos de neuronas reciben información del estatus energético del animal por medio de la leptina y la insulina.

De este modo, con base a Ginane *et al.* (2015) y Fetissov (2017), en la iniciación del hambre, la ghrelina secretada por el abomaso como respuesta al ayuno, estimula a los nervios sensoriales (como el nervio vago). Las señales eléctricas que transmite este nervio llegan al tallo cerebral, en específico a un sitio llamado “núcleo del tracto solitario” (NTS). Desde este núcleo, las señales se transmiten al núcleo arcuato del hipotálamo y ahí la ghrelina estimula las neuronas orexigénicas (estimuladoras del hambre) e inhibe a las anorexigénicas (estimuladoras de la saciedad).

Entonces, las primeras activan al núcleo lateral del hipotálamo provocando la sensación de hambre y consecuentemente el consumo del animal (Ginane *et al.*, 2015; Fetissov, 2017).

De manera inversa, Ginane *et al.* (2015) y Fetissov (2017) afirman que las señales como la distensión del rumen o la liberación de KKC y de insulina en el páncreas por el consumo de algún alimento, inervan al nervio vago y mediante el mismo procedimiento, dichas señales llegan al núcleo arcuato. En éste se estimulan las neuronas anorexigénicas y se inhiben sus relativas antagónicas (orexigénicas). Dichas neuronas

estimuladas activan el núcleo VMH, provocando la sensación de saciedad y, por tanto, la finalización del consumo alimenticio (Ginane *et al.*, 2015; Fetissov, 2017).

Los avances en mejorar la precisión sobre el comportamiento del consumo de alimento, aún no están del todo dilucidados. Esto se debe a la complejidad de las interacciones y la dificultad de predecir el tipo y suministro de combustibles absorbidos, así como de la eliminación de combustibles en la sangre y el destino de estos en el hígado del animal rumiante. No obstante, incrementar el entendimiento del control del consumo de alimento ayudará a formular dietas para incrementar la salud, productividad y eficiencia de la utilización de nutrientes en los rumiantes (Allen, 2014).

### **6.10 Aprovechamiento del rastrojo de maíz para alimentación en rumiantes**

El consumo voluntario, ocurre cuando se les ofrece a los animales un excedente de alimento y ellos consumen cierta cantidad de materia seca por día (Minson, 1990) y su digestibilidad *in vivo* es uno de los principales indicadores para que aumente tal consumo (Aumont *et al.*, 1995). Allison *et al.*, (1985) infieren que la variación en la ingesta voluntaria de alimento es el principal factor determinante de la dieta y nivel de eficiencia de la producción de rumiantes; por tanto, la productividad probablemente podría aumentarse mediante el incremento de la ingesta. También señala a la digestión retículo-ruminal como limitante del consumo voluntario y, que éste a su vez, depende de las propiedades físicas y químicas del alimento y/o forraje, así como de la demanda de energía de los animales.

Sisson y Grossman (1982) comparan la anatomía y fisiología entre especies que marcan diferencias importantes que se reflejan en el consumo de alimento, por ejemplo: el equino y el bovino son especies que consumen forrajes, el equino solamente tiene un estómago, comparado con el bovino, ovino y caprino que son animales que rumian y que tienen cuatro compartimentos donde procesan el alimento (rumen, el retículo, el omaso y el abomaso). El equino tiene una dentadura completa inferior y superior, mientras que el bovino, ovino y caprino carecen de dientes incisivos en el maxilar superior; el forraje que consumen lo enrollan con la lengua para llevarlo a la boca, para luego ser cortado con

los dientes, es por esta razón que no pueden consumir pastos muy cortos, a diferencia de los equinos que si pueden consumir el pasto corto.

Los alimentos que consumen las especies monogástricas, como el equino, el porcino y otras, son procesados y digeridos por la peristalsis estomacal y el proceso enzimático. Por su parte, los rumiantes consumen grandes cantidades de pasto en corto tiempo gracias a su capacidad de la rumia, proceso que consiste en poder regurgitar el alimento que se ha ingerido para después masticarlo y mezclarlo con saliva. Con ello, además de reducir el tamaño de las partículas del alimento ingerido, los microorganismos que viven en el estómago (bacterias, hongos y protozoarios), podrán digerir los carbohidratos contenidos en las fibras de los forrajes y aprovechar los nutrientes de los alimentos (Krehbiel, 2014).

La saliva que se produce en gran cantidad y se mezcla con el alimento, regula la acidez del rumen y acondiciona el ambiente para que puedan actuar los microorganismos. De esta manera aprovechan eficientemente los nutrientes de los alimentos, inclusive los de baja calidad nutricional los cuales son utilizados para realizar las actividades que producen un gasto energético (Clauss *et al.*, 2015).

El sistema gastrointestinal de los rumiantes ha sido investigado desde su particular anatomofisiología de estar constituido por cuatro compartimentos y lo que esto implica en la digestión de nutrientes y la manipulación microbiana para aumentar la eficiencia animal y su rendimiento (Sisson y Grossman, 1982). En un estudio que se realizó con diferentes herbívoros, se determinó que la fisiología digestiva está estrechamente relacionada con la fisiología de la masticación (Clauss *et al.*, 2015). Esto se debe en gran medida a que los rumiantes reducen el tamaño de las partículas que ingieren por medio de la regurgitación y/o la re masticación previa a que la ingesta transite por el retículo ruminal y el omaso antes de llegar al intestino delgado (Munn *et al.*, 2008).

De acuerdo con Oliveros *et al.* (1993), la productividad de los rumiantes se determina por el consumo voluntario de alimento y la digestibilidad, parámetros que se han utilizado

para formar índices de calidad del forraje. Asimismo, la mayoría de las normas y modelos de alimentación se basan en el supuesto de que el rendimiento animal está estrechamente relacionado con la ingesta de nutrientes disponibles (Coleman y Moore, 2003).

Rolls *et al.* (1986) informaron que la variación de sólo una de las características sensoriales del alimento, como el sabor, resulta en una mayor ingesta de alimento; se realizaron tres experimentos para comprobar si corderos de menos de un año mostraban preferencias de sabor. Dicho experimento consistió en ofrecerles mezclas con sabores sintéticos de vainilla, lechoso, frutas y melaza, mientras que el testigo fue sin sabor. Los sabores lechosos fueron las mezclas que más se consumieron. Sin embargo, se determinó que es posible que otros factores, como el gusto, la vista, la textura pueden ser responsables de las preferencias de sabor de los rumiantes jóvenes (Nedelkov *et al.*, 2019).

La palatabilidad de los alimentos es un factor determinante en el consumo de cualquier alimento según demostraron Miller *et al.* (2014), en un estudio con terneros a los que les ofreció diferentes tipos de harinas. Ellos concluyeron que los terneros tienen preferencia de consumo por harina de canola ( $40.0\% \pm 2.64\%$ ), la cual tiene mayor contenido de proteína, en comparación con el consumo de harina de soya ( $37.9\% \pm 2.27\%$ ), dichos resultados probablemente indiquen que la preferencia alimentaria pueda estar influenciada por las preferencias innatas de los terneros, ya que se ofreció en los primeros días de nacidos ( $11.4 \pm 4.3$  días de edad).

Otro estudio realizado por Patiño *et al.*, (2008) determinó que la ingesta voluntaria también depende de la genética del animal y de la época climática; seleccionó 3 grupos genéticos de terneros, cebú colombiano, cebú cruzado con Aberdeen Angus y mestizos, alimentándolos en tiempo de lluvias y de sequía. El grupo de terneros cebú tuvo un tiempo de mayor pastoreo en época de sequía, medido en 490 minutos de pastoreo diurno, comparado con 398 minutos de pastoreo diurno en época de lluvias; sin embargo la mayor ganancia de peso, la obtuvo el grupo de doble propósito que correspondió a los

terneros mestizos con 910 gramos por día y un pastoreo de 461 minutos en época de sequía y 382 minutos de pastoreo en época de lluvias.

En animales adultos, Undi *et al.* (2001) estudiaron el comportamiento en ovejas consumiendo rastrojo de maíz solo y combinado con algunas leguminosas. Ellos determinaron significativamente que la aceptabilidad del rastrojo de maíz se incrementa al agregar leguminosas. Para empezar, la proteína cruda (PC) incrementó de 4.1% en el rastrojo de maíz sin tratar a 9.7% al incluirle *Centrocema pubescens*, 8.21% al incluirle *Macroptilium atropurpureum*, y 8.1% al incluirle *Stylosanthes guianensis*. El consumo fue de 48.5 g/día de rastrojo de maíz sin tratar, 78.4 g/día de rastrojo con *Stylosanthes guianensis*, 75.9 g/día de rastrojo con *Macroptilium atropurpureum* y 92.9 g/día de rastrojo tratado con *Centrocema pubescens*. Esto se reflejó en una ganancia de peso de 2.8% superior al testigo sin leguminosa.

Otro estudio (Manyuchi *et al.*, 1994) determinó que los suplementos de melaza y urea pueden ser una opción rentable, se observó que el consumo voluntario aumentó y mejoró la tasa y el grado de degradación ruminal en novillos y corderos. El consumo de rastrojo sin tratar en novillos fue de 5 kg por día, mientras que el rastrojo tratado con urea a una razón de 10 g/kg de MS, el consumo fue de 5.5 kg/día, mientras que a una razón de 30 g/kg de MS, el consumo fue de 5.8 kg/día. En corderos, aumentó el consumo cuando el rastrojo fue tratado con melaza y urea que consumiendo el rastrojo sin tratar; consumieron 403 g/día de rastrojo de maíz sin tratar, contra 512 g/día de consumo de rastrojo tratado con melaza y urea (Manyuchi *et al.*, 1994).

Con los datos presentados se puede observar que son muchos los factores que pueden afectar al consumo voluntario de alimentos, desde las propiedades físicas y químicas de los forrajes, la cantidad de energía requerida por los animales, hasta las preferencias innatas de los animales y la suplementación para aumentar la palatabilidad.

## **6.11 Algunos tratamientos aplicados al rastrojo de maíz**

Más de la mitad de los productores de rastrojo de maíz mencionan que no utilizan algún producto para que los animales lo consuman y prácticamente se obliga al animal a que lo coman sin tener opción (Muñoz *et al.*, 2013). Como alternativas se han utilizado suplementos que mejoren la calidad en el rastrojo y se aumente el consumo, como el adicionar melaza, residuos de panadería, estiércol de gallina, estiércol de pollo, urea, sales, minerales, amonio, así como ensilar, hacer moliendas y bloques nutricionales. Así también, de acuerdo a Owen (1976) y Jackson (1978) se puede mejorar el consumo de rastrojo, por medio de procedimientos físicos y químicos, que además de proporcionar la energía necesaria al animal, no afecta la fisiología característica digestiva del rumiante. Se ha demostrado que el tratamiento químico mejora el valor nutricional del rastrojo de maíz potencializando este recurso para alimentar a los rumiantes (Casperson *et al.*, 2018).

### **6.11.1 Amonificación**

Una alternativa que se puede considerar para incrementar el consumo y la calidad nutricional del rastrojo de maíz, es el proceso de amonificación, con el que se hace mejor manejo de los residuos de cosecha y se mejorara la calidad nutricional para los rumiantes (Saavedra *et al.*, 2013). La amonificación proporciona compuestos nitrogenados benéficos para los rumiantes, gracias a la utilización de sustancias ricas en amoniaco que se emplean para el proceso (Klee y Murillo 1989). Se aprecia en la Tabla 2 que la amonificación y adición de compuestos nitrogenados incrementa el consumo voluntario del rastrojo de maíz.

Se elevó notablemente el contenido de proteína cruda de 5.08 a 8.02 y 12.92% al amonificar forraje en un porcentaje de 3 y 6 %, respectivamente. Beneficiando también el contenido de FDN de 77.31 a 76.89 y 74.84%, respectivamente, por la solubilización que sufren las paredes celulares por efecto del amonio, según investigación realizada por Castellanos *et al.* (2017). En otro estudio se demostró que con la amonificación se incrementó el nivel de consumo de un 23% a 34%, al rastrojo de maíz se le añadió urea en solución, en una proporción de materia seca/agua/urea de 100/50/5 respectivamente,



lo que corresponde a 100 kg de rastrojo/20 litros de agua/4kg de urea y esta solución fue aplicada con el método de aspersión uniforme; el rastrojo se guardó en bolsas de plástico que fueron prensados, sellados y almacenados y fueron abiertos después de días 30 – 42 días (Jiménez *et al.*, 2010; Sánchez *et al.*, 2012).

El aplicar urea a los rastrojos se ha utilizado durante algún tiempo, el problema que encuentran los productores es que el costo de implementar este tratamiento, es bastante elevado para la gente que menos recursos tiene (Jiménez *et al.*, 2010). Ante esta problemática, se vuelve improductivo este manejo, por eso actualmente se están considerando nuevas tecnologías que resulten menos costosas como el uso de enzimas de hongos que según Soto *et al.*, (2015), reducen la cantidad de fibras en las pasturas, haciéndolas más digeribles.

**Tabla 2.** Niveles de consumo voluntario en ovinos con rastrojo de maíz con tratamientos de amonificado y suplementos de urea.

<b>Rastrojo de maíz sin tratamiento</b>	<b>Rastrojo de maíz tratado</b>	<b>Autores</b>
552 g/cordero/día	1228 g/cordero/día (suplemento de urea de ingestión lenta)	Galina <i>et al.</i> (2004)
443.8 g/ovino/día	539 g/ovino/día (amonificado)	Jiménez <i>et al.</i> (2010)
893 g/ovino/día	919 g/ovino/día (amonificado)	Sánchez <i>et al.</i> (2012)
28.1 g/oveja/kg de peso vivo	39.1 g/oveja/kg de peso vivo (amonificado)	Fondevila <i>et al.</i> (1994)

### 6.11.2 Tratamiento con melaza

Tratamiento del rastrojo de maíz con melaza, al 2.5% (25 kg de melaza por 1000 kg de rastrojo de maíz) aumenta la ingesta voluntaria; sin embargo, no hay cambios significativos en la digestibilidad. Así lo demostraron Johnson *et al.* (1984), en un estudio

realizado con ovejas; de 46.4 g/kg/PV de consumo de materia seca de rastrojo sin tratar, donde hubo un incremento a 49.0 g/kg/PV de consumo de rastrojo.

### **6.11.3 Tratamientos físicos**

En un análisis químico de digestibilidad al rastrojo de maíz realizado por Fuentes *et al.* (2001) en pequeños rumiantes, hubo incrementos de consumo de rastrojo de maíz a medida que se aumentó el tamaño de partícula del rastrojo. Los valores encontrados fueron de 66.05, 71.94 y 71.50% para el rastrojo molido, picado y entero, respectivamente.

Jiménez *et al.* (2010) concluyeron que la mejora significativa del consumo del rastrojo de maíz en ovinos, también tiene que ver con el tamaño de partícula ofrecido, además de reflejarse un aumento en la proteína cruda. Estos autores reportaron que el consumo de materia seca (MS) de partículas de rastrojo de 1 cm fue de 503 g/ovino/día, con 2 cm fue de 563 g/ovino/día, con 3 cm fue de 510 g/ovino/día y de 4 cm fue de 554 g/ovino/día.

Por otro lado, el rastrojo picado a 2 cm tiene una alta proporción de tallos unidos a fracciones de vainas y hojas, estas se desprenden del tallo y los animales lo consumen gracias al movimiento de sus labios, resultando un consumo mucho más rico y completo a que si se picara el rastrojo a 3 cm, como consecuencia se favorece el consumo total y la digestibilidad (Jiménez *et al.*, 2010).

Algunos de los tratamientos observados incrementaron el consumo de rastrojo de maíz comparado con el rastrojo no tratado (Tabla 3).

**Tabla 3.** Consumo de rastrojo de maíz con diferentes tratamientos.

Sin tratar	Con Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	Con Urea	Con Hidróxido de calcio [Ca (OH) <sub>2</sub> ]	Con melaza	Especie	Autores
4.91	6.81	6.39	5.73		Novillo	Oliveros <i>et al.</i> (1993)
kg/día	kg /día	kg /día	kg/día			
3.31	4.09	3.39			Becerro	Saenger <i>et al.</i> (1982)
kg/ /día	kg /día	kg /día				
1.8				1.92	Cordero	Bórquez (2009)
kg/día				kg /día		
0.90				0.99	Oveja	Johnson (1984)
kg/día				kg /día		

### 6.12 Tratamientos biológicos con hongos comestibles

Debido a la creciente necesidad de utilizar al máximo el rastrojo de maíz, procurando que los animales lo consuman, lo aprovechen y el medio ambiente no salga perjudicado por la producción de gases que pudieran provocar efecto invernadero, el uso de hongos comestibles resulta ser benéfico tanto para los animales como para el ambiente.

Según Arora y Sharma, (2009), se cuenta con biotecnologías a base de hongos como los de la “pudrición blanca” como alternativa para mejorar la calidad nutricional de los subproductos. Los hongos de la pudrición blanca como las cepas de las especies *Ceriporiopsis subvermispora* y *Pleurotus eryngii*, degradan por medio de enzimas y otros compuestos, a la lignina que no degradan tan fácilmente los rumiantes al alimentarse con forrajes de contenido alto de lignina. Esta degradación depende también del tipo de forraje que se está utilizando, justamente porque el contenido de lignina es diferente (van Kuijk *et al.*, 2015). Los hongos del género *Pleurotus* tienen la capacidad de degradar la lignina gracias a su sistema multienzimático que actúa sobre moléculas complejas (Salmones *et al.*, 2005).

Es importante considerar que no todas las estructuras vegetales, ni todas las cepas de hongos provocan una degradación y como consecuencia tampoco se mejora el valor nutricional del rastrojo (Tao *et al.*, 2016; He *et al.*, 2019). Algunas cepas como *Ceriporiopsis subvermispora*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus eryngii* o *Pleurotus ostreatus*, elevan el contenido de proteína cruda de los sustratos pero provocaron una pérdida de nutrientes (Tabla 4), en el proceso de esterilización con autoclave, probablemente porque se solubilizan los compuestos nitrogenados del rastrojo de maíz (Tuyen *et al.*, 2013).

**Tabla 4.** Pérdida de nutrientes en proceso de esterilización de rastrojo de maíz colonizado con hongos.

<b>Nutriente</b> <b>g/kg MS</b>	<b>Rastrojo</b> <b>sin</b> <b>inocular</b>	<b>Rastrojo con</b> <b><i>Ceriporiopsis</i></b> <b><i>subvermispora</i></b>	<b>Rastrojo con</b> <b><i>Lentinula</i></b> <b><i>edodes</i></b>	<b>Rastrojo</b> <b>con</b> <b><i>Pleurotus</i></b> <b><i>eryngii</i></b>	<b>Rastrojo con</b> <b><i>Pleurotus</i></b> <b><i>ostreatus</i></b>
FDN	767.2 <sup>b</sup>	686.1 <sup>c</sup>	702.2 <sup>c</sup>	695.4 <sup>c</sup>	646.8 <sup>d</sup>
FDA	454.9 <sup>d</sup>	488.7 <sup>c</sup>	506.5 <sup>b</sup>	510.5 <sup>b</sup>	485.2 <sup>c</sup>
PC	66.1 <sup>b</sup>	62.2 <sup>bc</sup>	65.0 <sup>b</sup>	59.9 <sup>c</sup>	72.7 <sup>a</sup>

Fuente: Tuyen *et al.* (2013).

<sup>a b c</sup> Los valores con diferentes superíndices dentro de la fila son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Chen *et al.*, (2012) sugieren el uso de enzimas ligninolíticas para degradar directamente en el maíz ensilado; sin embargo, no se ha determinado el efecto sobre la calidad nutricional final del ensilado, sus efectos en la producción animal, ni en el consumo a largo plazo, así como en la producción de gases que provoquen el efecto invernadero.

La cepa de hongo que se utilice es de gran importancia porque su consumo debe ser seguro a largo plazo para los animales y para el humano que consume al animal. Además, las condiciones requeridas para su cultivo son una de las principales desventajas debido a la necesidad de carbohidratos y tiempo para su incubación, tal

como lo determinaron van Kuijk *et al.* (2015), en cepas de *Ceriporiopsis subvermispora* y *Pleurotus eryngii* cultivadas en pajas con presencia de lignina

Atuhaire *et al.* (2016), utilizaron cepas de *Pleurotus florida*, *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus pulmonarius* y *Pleurotus sajor caju*, para determinar cuál es la ideal para el pretratamiento del rastrojo de maíz. Ellos encontraron que *P. sajor caju* fue la que incrementó mayormente la proteína cruda, mayor energía metabolizable y cantidad más baja de lignina (Tabla 5), sugiriendo que dicha especie puede ser una alternativa para mejorar el valor nutritivo del rastrojo de maíz; por ello, recomendaron estudiar el efecto que tiene este resultado en animales.

**Tabla 5.** Composición nutricional del rastrojo de maíz colonizado con *Pleurotus* spp.

<b>Nutriente (g / kg MS)</b>	<b>Rastrojo sin inocular</b>	<b>Rastrojo con <i>P. florida</i></b>	<b>Rastrojo con <i>P. sajor caju</i></b>	<b>Rastrojo con <i>P. pulmonarius</i></b>	<b>Rastrojo con <i>P. ostreatus</i></b>
FDN	772.0 <sup>a</sup>	625.0 <sup>b</sup>	619.0 <sup>b</sup>	612.0 <sup>b</sup>	627.0 <sup>b</sup>
FDA	458.0 <sup>a</sup>	426.0 <sup>b</sup>	419.0 <sup>b</sup>	425.0 <sup>b</sup>	427.0 <sup>b</sup>
Lignina	83.0 <sup>a</sup>	65.0 <sup>b</sup>	50.0 <sup>c</sup>	53.0 <sup>c</sup>	67.0 <sup>b</sup>
PC	54.2 <sup>b</sup>	81.2 <sup>a</sup>	86.6 <sup>a</sup>	85.9 <sup>a</sup>	80.1 <sup>a</sup>
DIVMS	385.5 <sup>c</sup>	698.2 <sup>b</sup>	731.0 <sup>a</sup>	717.3 <sup>a</sup>	682.3 <sup>b</sup>
MS	913.0 <sup>a</sup>	887.0 <sup>b</sup>	865.0 <sup>c</sup>	877.0 <sup>b</sup>	883.0 <sup>b</sup>
EM	4.6 <sup>a</sup>	9.5 <sup>b</sup>	10.0 <sup>b</sup>	9.8 <sup>b</sup>	9.2 <sup>b</sup>

Fuente: Atuhaire *et al.* (2016).

Materia Seca (MS). Energía metabolizable (EM).

<sup>a b c</sup> La media de mínimos cuadrados en la misma fila seguida de un superíndice diferente difiere estadísticamente ( $p < 0.05$ ).

He *et al.* (2019), en estudio realizado con las cepas *Lentinula edodes* y *Pleurotus eryngii*, encontraron que no hubo degradación del tallo. Esto pasa porque, según Tuyen (2012), el tallo en su parte más baja impide la degradación de las demás partes y por consecuencia, tampoco se degrada la lignina. Se ensilaron los tallos hasta por 8

semanas y algo que también pudo haber sido determinante como factor negativo para la degradación, es que los sustratos para el tratamiento fúngico, se sumergieron en agua por tres días. Esto pudo haber provocado la pérdida de sustancias solubles en agua como azúcares y ácidos orgánicos e inorgánicos y como consecuencia de todo el proceso en el estudio actual, los dos hongos seleccionados no mejoraron el valor nutricional del tallo inferior del maíz.

Tao *et al.* (2016), demostraron que al aplicar *Phaerochaete chrysosporium* en tallos de maíz para su predigestión, hubo mayor degradabilidad comparada con el tratamiento testigo (Tabla 6). Ellos utilizaron los inoculantes fúngicos de *Phaerochaete chrysosporium* y *Trichoderma viride*, los cuales resultaron con el mayor efecto en la mejora de la disponibilidad de nutrientes en los tallos tratados para ser digeridos por los microbios del rumen en comparación con la inoculación de *Phaerochaete chrysosporium* y *Aspergillus niger*, que sólo aumentaron significativamente la degradación de la proteína cruda. Tao *et al.* (2016), recomendaron mayores estudios respecto a los efectos de estos tratamientos directamente en la productividad de los animales y en lo seguro que puede ser el hongo al ser consumido por periodos más largos.

**Tabla 6.** Composición nutricional del rastrojo de maíz colonizado con *Phaerochaete chrysosporium*, *Aspergillus niger* y *Trichoderma viride*.

Nutriente g/kg MS	Rastrojo sin inocular	Rastrojo con <i>P.</i> <i>chrysosporium</i>	Rastrojo con <i>P.</i> <i>chrysosporium</i> + <i>A.</i> <i>niger</i>	Rastrojo con <i>P.</i> <i>chrysosporium</i> + <i>T. viride</i>
FDN	592.0 <sup>a</sup>	495 <sup>c</sup>	466 <sup>d</sup>	447 <sup>e</sup>
FDA	316.0 <sup>a</sup>	288 <sup>c</sup>	268 <sup>d</sup>	255 <sup>e</sup>
Lignina	148.0 <sup>a</sup>	139 <sup>c</sup>	134 <sup>d</sup>	130 <sup>e</sup>
PC	83.6 <sup>c</sup>	77.3 <sup>e</sup>	85.6 <sup>b</sup>	88.1 <sup>a</sup>
MS	915.0 <sup>a</sup>	882 <sup>c</sup>	876 <sup>d</sup>	869 <sup>e</sup>

Fuente: Tao *et al.*, 2016.

<sup>a b c d e</sup> Las medias en la misma columna con letras diferentes difieren estadísticamente ( $p < 0.05$ ).

Tuyen *et al.* (2013) estudiaron los efectos de *Ceriporiopsis subvermispora*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus eryngii* o *Pleurotus ostreatus* en rastrojo de maíz, paja de arroz, hojas de palma aceitera y bagazo de caña de azúcar. Ninguno de los hongos mejoró la fermentabilidad *in vitro* del rumen al tratar el rastrojo de maíz. Sin embargo, con todos los hongos se elevó el contenido de proteína cruda de los sustratos después de seis semanas de incubación. Los hongos causaron una pérdida de nutrientes pero en el caso de *C. subvermispora* y *L. edodes* se determinó que tienen un gran potencial para mejorar el valor nutritivo de los rastrojos que contienen lignina de 100 g /kg. En el caso del rastrojo de maíz, los hongos no mejoraron el valor nutritivo.

Chen *et al.* (2012), utilizaron específicamente la enzima lacasa obtenida del hongo *Trametes versicolor* (producida por Sigma-Aldrich), que tiene propiedades ligninolíticas y fue utilizada en el ensilado de rastrojo de maíz. Ellos encontraron un efecto positivo con la hidrólisis parcial de la celulosa en un 7%, al elevar el uso de la enzima lacasa.

Feng *et al.* (2013), también utilizaron enzimas de las cepas de hongos *Phanerochaete chrysosporium* y *Coriolus versicolor* como pretratamiento en el rastrojo de maíz que pretende eliminar la lignina y hemicelulosas para facilitar el paso de las enzimas que degradan a la celulosas y aumentar la calidad nutricional del forraje. La presencia de la enzima lacasa provocó que la celulosa fuera relativamente más alta después del pretratamiento. Ello facilitó la presencia de la enzima celulasa y como consecuencia un mejoramiento en el rendimiento de azúcar en la hidrólisis del rastrojo de maíz, lo que se reflejaría en un mejoramiento de la calidad.

Montañez *et al.* (2004), en un estudio que realizaron sobre el efecto de la alimentación de paja de trigo tratada con *Pleurotus florida* sobre la flora ruminal de ovejas, con el objetivo de determinar si al alimentar a los carneros con paja de trigo en los cuales se cultivaron hongos comestibles de la pudrición blanca, la digestibilidad del alimento se veía afectada, así como el número total de bacterias, bacterias celulolíticas, protozoos, pH, concentración de amoniaco ruminal y ácidos grasos volátiles en el rumen. No hubo diferencias en la digestibilidad, PC, NDF, ADF, celulosa, hemicelulosa, concentración de

bacterias celulolíticas, protozoos, pH ruminal, amonio N y concentración de ácidos grasos. Sin embargo, el número total de bacterias ruminales fue mayor ( $p < 0.05$ ) en la paja tratada.

Con base en la información expuesta, se vislumbra que el utilizar cepas de hongos como pretratamiento en los rastrojos agrícolas, puede ser una opción prometedora para mejorar la calidad en los forrajes y el aprovechamiento por el animal. No obstante, hay todavía varias interrogantes que quedan sin respuesta, por lo que vale la pena realizar estudios para explorar por los múltiples beneficios que pueden resultar de esto.

Lo más objetivo es considerar estas opciones de pretratamiento para reducir los contaminantes por gases como el metano y evitar que siga el efecto invernadero, así como producir biocombustibles amigables con el ambiente. De igual manera es importante saber los efectos reales que tienen estos tratamientos en los animales si su alimentación es prolongada, además de saber exactamente los rendimientos productivos que se pueden obtener en ellos y por supuesto los efectos en el humano que consume estos animales.



## **VII. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **7.1 Área de estudio**

La producción del rastrojo de maíz y las pruebas de preferencia se llevaron a cabo en el municipio de Cuautinchán, Puebla, en las coordenadas 18°57'20" N y 98°00'59" O. Se decidió hacer en este municipio porque la actividad económica predominante es la agropecuaria, donde la producción de maíz y la ganadería representan un ingreso económico importante para las familias. Según datos de la SEDESOL (2010), la región tiene un índice de pobreza y vulnerabilidad del 77.7%, de los cuales el 51.1% presentaban pobreza moderada y 26.6% pobreza extrema.

### **7.2 Selección del cultivar de maíz**

Se adquirieron 30 kg de semilla de dos variedades de maíz nativo más usados en la zona (15 kg de cada una) los cuales se etiquetaron con las letras A y C y, 15 kg de semilla del híbrido comercial Aspros 1503<sup>®</sup>, recomendado para la región al que se etiquetó con la letra B.

### **7.3 Preparación del terreno y siembra**

La superficie de terreno fue de aproximadamente una hectárea dividida en siete bloques de 28 por 50 metros, que fue arada y rastreada en un intervalo de 30 días entre cada actividad. El surcado fue a 80 cm de distancia. La fecha de siembra fue el 12 de mayo del 2018 a una densidad de siembra de 35 kg ha<sup>-1</sup>. En cada bloque se sembraron los tres cultivares (A, B y C) de manera aleatoria. Al momento de la siembra se fertilizó con la fórmula 64-70-30 kg de NPK ha<sup>-1</sup>. Se tuvo programada una segunda fertilización nitrogenada de 64 unidades de N, pero por falta de humedad, no se realizó. Las fuentes utilizadas fueron urea, superfosfato de calcio triple, cloruro de potasio y fosfato diamónico (DAP).

Para el control de maleza y que la planta se afianzara al suelo, se realizaron dos levantamientos de surcos con tractor, una el 12 de junio y la otra el 12 de julio del mismo año, posteriormente la maleza que creció se controló manualmente.

## **7.4 Seguimiento de la siembra**

### **7.4.1 Registro de temperatura y milímetros de lluvia**

La temperatura diaria se registró con termómetro Datalogger marca EXTECH® RHT10. Después se sacaron los máximos y mínimos registrados por semana.

La lluvia se registró diariamente con pluviómetro plástico Analoger Regenmesser TFA con graduación de 0 – 70 mm.

### **7.4.2 Floración masculina y femenina al 50%**

Se registraron los días transcurridos al 50% de las floraciones masculinas y femeninas. La floración masculina se consideró cuando las primeras anteras comenzaron a liberar polen, mientras que la floración femenina cuando comenzaron a aparecer los primeros pistilos. El número de plantas de las que se tomaron las floraciones, se contaron dentro de 5 metros lineales en dos surcos, en total 10 metros lineales de cada genotipo de maíz en cada unidad experimental. Cada tercer día se contaron las plantas en floración hasta cubrir el 50% de las plantas consideradas para dicho fin.

### **7.4.3 Cosecha**

El corte de la planta se realizó la primera semana del mes de noviembre a los 170 días posteriores a la siembra. Las plantas cosechadas se cortaron y se tendieron en el suelo. Se guardó la cosecha por cultivar, todo lo demás se picó con criba de ½", manteniendo la identidad de las mismas con sus respectivas repeticiones.

### **7.4.4 Producción de rastrojo de maíz por cultivar**

De los siete bloques sembrados, en total se obtuvieron aproximadamente 400 kg de rastrojo de maíz por genotipo, el cual fue pesado con báscula digital colgante, posteriormente se picó con un molino de tractor con criba para obtener un picado de 2 cm. De este forraje se tomaron muestras de cinco plantas de cada cultivar por cada uno de los bloques y fueron guardadas en bolsas de papel previamente identificadas. Dichas plantas se secaron por 48 horas a 70°C en estufa de aire forzado Marca Thermo Scientific® Model No. 3478, para después ser molidas en un molino ciclónico FOSS

TECATOR® con malla de 1 mm. Las muestras molidas fueron guardadas en bolsas plásticas con cierre para su conservación y posterior análisis en laboratorio para determinar la calidad nutritiva.

### **7.5 Tratamiento de rastrojo con el hongo *Ganoderma lucidum***

La cepa de *Ganoderma lucidum* (CP-145), se obtuvo del Centro de Biotecnología de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales (CB-HCFM) del *Campus* Puebla del Colegio de Postgraduados. Esta cepa resultó con las mejores características para realizar este estudio, frente a *Pleurotus ostreatus* (CP-753), *Neolentinus lepideus* (CP-6) y *Pleurotus agave* (CP-460), por las condiciones que se observaron de un crecimiento óptimo y con resistencia a contaminación por otros microorganismos patógenos.

Del rastrojo picado con criba a 2 mm que se obtuvo, se esterilizaron siete cajas Petri por genotipo de maíz, con 20 g aproximadamente de rastrojo, en una autoclave marca All American® a 121.5°C 15 lb/in<sup>2</sup> por 60 minutos para que después de la esterilización se inocularan con *Ganoderma lucidum*. El hongo se inoculó al rastrojo con cinco círculos colonizados por micelio cortados con un asa de Kolle, los cuales midieron 5 mm de diámetro. El avance en crecimiento del hongo se revisó cada 3 días, hasta alcanzar 15 días, que fue el tiempo en que se alcanzó el máximo de colonización micelial (Figura 2). Después de ello, el sustrato con el hongo se secó por 24 horas a 70°C en estufa de aire forzado. Las muestras se molieron en un molino ciclónico FOSS TECATOR® con malla de 1 mm para su posterior determinación de la calidad nutritiva.

A la par en que se preparó el rastrojo para la inoculación con el hongo y con la finalidad de tener testigos referenciales para saber si el rastrojo de maíz presenta lixiviación de nutrientes en el momento de esterilizar, y si el tiempo que dura humedecido el rastrojo durante la incubación en la cual pueden existir reacciones de hidrólisis que modifiquen la calidad nutritiva, se esterilizaron 14 cajas Petri por cultivar de maíz. De estas cajas con rastrojo esterilizado, pero sin inoculación, siete se secaron el día de la esterilización (tiempo cero) y las otras siete se mantuvieron humedecidas por 15 días (tiempo 15) que fue el tiempo que se mantuvo húmedo el rastrojo en las cajas del tratamiento con inoculación con el hongo *Ganoderma lucidum* en la colonización del sustrato. Los

contenidos de las cajas Petri de dichos testigos también se secaron por 24 horas a 70°C en estufa de aire forzado Marca Thermo Scientific® Model No. 3478, para después ser molidas en un molino ciclónico FOSS TECATOR® con malla de 1 mm. Otro testigo incluido fue el rastrojo de cada cultivar sin hacersele ninguna intervención. Cada muestra fue guardada en bolsas plásticas con cierre para su conservación y análisis posterior para determinar la calidad nutritiva.

Dado que la presencia del hongo en el rastrojo puede modificar los contenidos de compuestos que determinan la calidad nutritiva, se preparó micelio de *Ganoderma lucidum* para conocer sus características mediante las variables de calidad nutritiva que se le realizaron al rastrojo. Para esto, se utilizó Potato Dextrose Broth (Difco™) a razón de 24 g/L, se esterilizó el medio en autoclave All American® a 121.5°C 15 lb/in<sup>2</sup> por 25 minutos. Se sembró el micelio del hongo, depositando cinco círculos de 5 mm de diámetro previamente desarrollado en medio PDA (Potato Dextrose Agar). Después se incubó en agitación orbital Thermo Scientific® a 120 rpm, 27°C por 20 días. Después se cosechó el micelio, recuperándolo mediante sistema de filtración con papel filtro Whatman #1 colocado en un embudo Buchner en matraz Kitazato conectado a bomba de vacío. Se obtuvo la biomasa y se secó en un horno de secado Felisa® en charolas de aluminio a 100°C por 48 horas. Se molió en mortero de cerámica y se guardó en bolsa plástica con cierre para su posterior análisis de calidad nutritiva.



**Figura 2.** Rastrojos colonizados con *Ganoderma lucidum*.

## **7.6 Composición química del rastrojo de maíz**

Se determinó la fibra insoluble en detergente neutro (FDN), la fibra insoluble en detergente ácido (FDA), la lignina, la digestibilidad *in vitro* y la proteína cruda (Figura 3).

### **7.6.1 Análisis de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA)**

La determinación de la FDN y la FDA se hizo por triplicado en un analizador de fibra ANKOM 200/220, utilizando los protocolos de ANKOM Technology (2017) y de manera secuencial.

### **7.6.2 Determinación de lignina**

De manera secuencial a la FDA, se realizó la determinación de lignina de acuerdo a los protocolos de ANKOM Technology (2017).

### **7.6.3 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)**

La digestibilidad enzimática *in vitro*, se hizo mediante la técnica de dos etapas pepsina-celulasa (Jones y Hayward, 1975; Clarke *et al.*, 1982). Ambas enzimas se adquirieron de la compañía SIGMALDRICH®. La pepsina se disolvió en 0.125 N de ácido clorhídrico a una proporción de 6.66 g l<sup>-1</sup>.

La celulasa Onozuka RS de *Trichoderma viride* (≥5000 unidades/g de sólido) se disolvió en buffer acetato (4.1 g de acetato de sodio anhidro y 2.9 ml de ácido acético por litro de agua destilada) manteniendo una proporción celulasa: muestra de 1:100 (Clarke *et al.*, 1982).

Se utilizó 0.3 g de materia seca por muestra, colocándose en bolsas ANKOM F57, por triplicado. Primero se realizó la etapa de digestión con pepsina y luego con la celulasa, cada una con una duración de 48 horas en un incubador de agitación orbital Marca modelo Lumistell ISO-45®, a 50°C y a 80 revoluciones por minuto.



**Figura 3.** Determinación de fibras y digestibilidad.

#### **7.6.4 Análisis de contenido de Proteína (PC)**

El contenido de proteína cruda se determinó bajo el procedimiento de la A. O. A. C. (1975).

Para la determinación analítica del contenido en proteína total, se determina por lo general el contenido de Nitrógeno calculado como proteína total. Para eso, se tituló el destilado con una solución valorada de ácido sulfúrico a una normalidad conocida, tomando lectura del gasto y el nitrógeno total se determinó bajo la siguiente fórmula:

% N= (ml gastados) (Normalidad del ácido) (1.4); mientras que el porcentaje de proteína cruda se calculó a través de la siguiente fórmula:

% PC = % N (6.25).

## 7.7 Pruebas de aceptabilidad de rastrojo de maíz en rumiantes

Para las pruebas de aceptabilidad y consumo de rastrojo de maíz (Figura 4), se utilizaron siete ovinos hembras de peso aproximado 30 kg  $\pm$  2 kg de peso vivo, en un sistema de producción estabulado donde se les ofrece alimento tres veces al día, una en la mañana, medio día y otra en la tarde, con agua en el corral a libre acceso. Se desparasitaron y vitaminaron con Ivomas B12<sup>®</sup> a razón de 1 ml por 50 kg de peso vivo. Se suplementaron con Selenio y vitamina E en presentación líquida a razón de 1 ml por 50 kg de peso vivo. A cada animal se le ofreció, en un orden al azar, los diferentes rastrosos de maíz tres veces al día por una duración de 5 días. Se ofrecieron 300 g de rastrojo de cada genotipo de maíz, correspondiente al 3% de su peso vivo.

Los tres cultivares de maíz se ofrecieron por separado a cada animal para determinar si había preferencia en cuanto al estado físico del rastrojo. Primero se ofreció la planta entera de los tres genotipos. Después fue en presentación molida a un tamaño de partícula de 0.2 cm y se terminó con la presentación picada a un tamaño de partícula de 2 cm.

La preferencia se midió mediante la diferencia del consumo de rastrojo, pesando el rastrojo ofrecido y rechazado con báscula digital colgante F1976<sup>®</sup> de cada cultivar.

Dado que la forma física más aceptada de rastrojo fue el rastrojo picado, se utilizó esta para ofrecer los diferentes tratamientos de sabores. El rastrojo picado mezclado con sales minerales fue a razón de 1 kg de sales por 50 kg de rastrojo. Las sales minerales se disolvieron en agua a razón de 1 kg de sales en 20 litros de agua, solución que fue rociada sobre el rastrojo.

El rastrojo amonificado se preparó con 50 kg de rastrojo rociado con 2 kg de urea disuelta en 10 litros de agua y almacenado en bolsa de plástico por 30 días.

El rastrojo con sabor a alfalfa se hizo licuando 1 kg de alfalfa fresca con ½ litro de agua haciendo un concentrado para luego añadir aproximadamente 20 litros de agua y rociar el rastrojo con esta mezcla.

El rastrojo con sabor a melaza se hizo asperjado una solución de melaza en polvo hidratada con agua a razón de 1 kg de melaza por 5 litros de agua.

El rastrojo colonizado por el micelio de *Ganoderma lucidum* se preparó inoculando la semilla directamente en el rastrojo a razón de 200 g de semilla por 1 kg de rastrojo

humedecido previamente con 2 litros de agua. Se incubó el rastrojo colonizado en un módulo por 30 días hasta lograr una colonización completa por el micelio.

Entre cada tratamiento de prueba se dio un descanso de un par de días a los animales para quitarles el sabor del tratamiento anterior y obtener con báscula digital colgante F1976® un peso de los residuos de rastrojo y así obtener datos medibles del consumo voluntario.



**Figura 4.** Preparación de rastrojo para pruebas de preferencia.

### 7.8 Diseño experimental

La evaluación del comportamiento productivo de los cultivares de maíz, se realizó mediante un diseño experimental de bloques al azar con siete repeticiones. Los tratamientos fueron tres genotipos de maíz. Para cada una de las variables a estudiar se realizó un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}.$$

Dónde  $Y_{ij}$  es la variable respuesta,  $\mu$  la media general,  $T_i$  el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento,  $\beta_j$  efecto del  $j$ -ésimo bloque y  $\epsilon_{ij}$  el efecto del error experimental.



Las variables de respuesta fueron: Días al 50% de floración masculina y femenina. Fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y lignina

Para la prueba de preferencias se empleó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial con siete repeticiones. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde  $Y_{ijk}$  es la variable respuesta,  $\mu$  la media general,  $\alpha_i$  el efecto del  $i$ -ésimo factor  $\alpha$ ,  $\beta_j$  el efecto del  $j$ -ésimo factor  $\beta$ , la interacción  $\alpha\beta_{ij}$  y  $\varepsilon_{ij}$  el efecto del error experimental.

El factor correspondiente a  $\alpha$  fueron los genotipos de maíz y el correspondiente a  $\beta$  fueron la presentación en un primer experimento y los sabores en un segundo experimento.

La variable de respuesta fue el consumo del rastrojo de maíz por los rumiantes.

Para evaluar el comportamiento del hongo *Ganoderma lucidum* se empleó también un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial más un tratamiento adicional (Federer, 1979). Los factores fueron los cultivares de maíz con tres niveles y el factor de condición del rastrojo en cuatro niveles (rastrojo en su forma natural, rastrojo esterilizado e inmediatamente secado, rastrojo esterilizado permaneciendo húmedo en caja Petri por 15 días y rastrojo colonizado por micelio de *Ganoderma lucidum*). El tratamiento adicional fue el micelio del hongo.

Las variables de respuesta fueron: Fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lignina, digestibilidad *in vitro* de materia seca y proteína cruda.

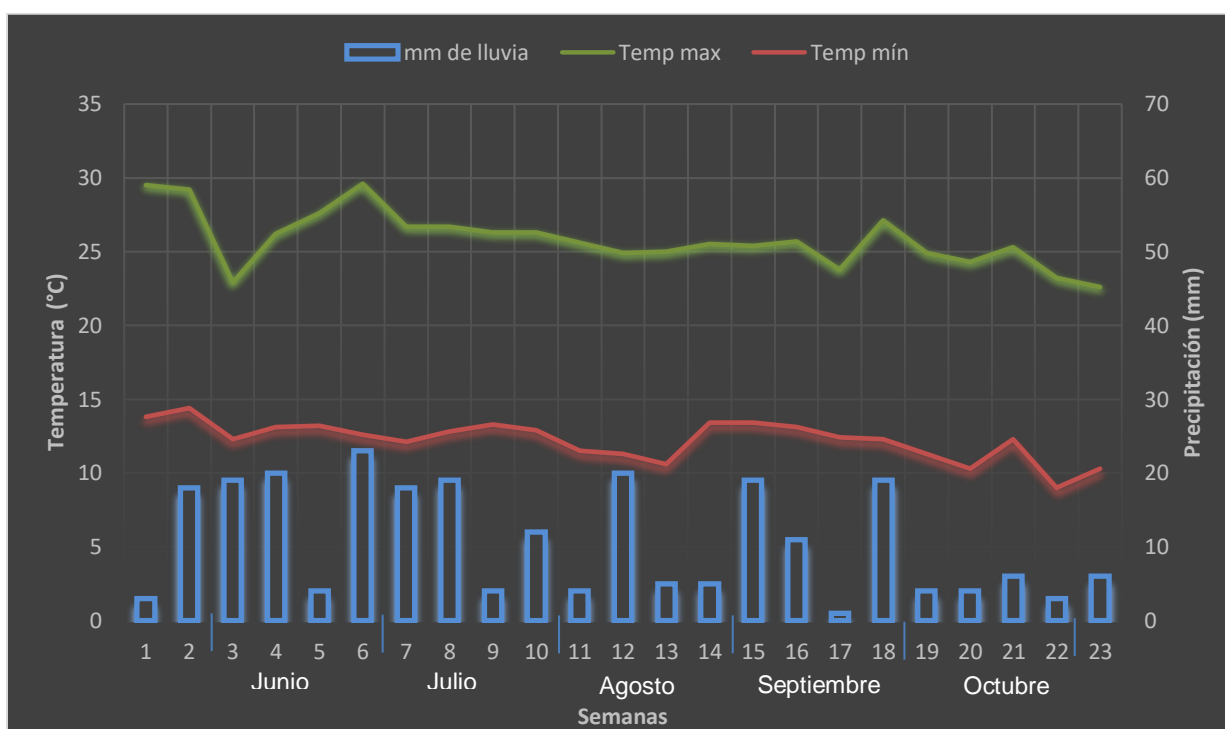
## 7.9 Análisis estadístico

Para el análisis del ciclo biológico de la planta y calidad nutritiva del rastrojo se utilizó el programa estadístico SAS versión 9.0 (SAS, 2002), mediante el procedimiento PROC GLM y de Tukey (HSD) para la comparación de medias. Con este mismo programa, el análisis de la prueba de preferencias se realizó mediante el procedimiento PROC MIXED. Se tomaron como efectos aleatorios a los animales y al día de prueba. Las medias se compararon con la Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) con el procedimiento PROC PLM.

## VIII. RESULTADOS

### 8.1 Registro de temperatura y milímetros de lluvia en el sitio de establecimiento del cultivo

En la producción del rastrojo, el cultivo se desarrolló bajo las siguientes condiciones: las temperaturas máximas tuvieron un intervalo de valores entre 22.6° y 29.6°C (Figura 5). Las temperaturas mínimas estuvieron entre 9° y 14.4°C. La precipitación acumulada fue de 247 mm, registrándose la mayor cantidad de lluvia entre junio y julio.



**Figura 5.** Climograma registrado durante el periodo experimental del cultivo de maíz.

Las condiciones climáticas propiciaron un crecimiento limitado de la planta para la obtención de rastrojo (Figura 6).



**Figura 6.** Producción de rastrojo de maíz.

### 8.2 Días al 50% de floración masculina y femenina

Los cultivares fueron diferentes en el tiempo para alcanzar el 50% de floración masculina ( $p < 0.0001$ ). La floración masculina en cultivar B Aspros<sup>®</sup> fue más tardía ( $p < 0.05$ ) en comparación con los genotipos criollos A y C. Respecto a la floración femenina, el cultivar criollo A fue diferente ( $p < 0.05$ ) del genotipo B Aspros<sup>®</sup>. El genotipo criollo C fue similar tanto al genotipo criollo A como al genotipo B Aspros<sup>®</sup> (Tabla 7).

**Tabla 7.** Promedios de los días de floración masculina (DFM) y días de floración femenina (DFF) por cultivar de maíz.

Genotipo de maíz	DFM	DFF
<b>A Criollo</b>	101 <sup>b</sup>	129 <sup>b</sup>
<b>B Aspros 1503<sup>®</sup></b>	112 <sup>a</sup>	133 <sup>a</sup>
<b>C Criollo</b>	101 <sup>b</sup>	132 <sup>ab</sup>

<sup>a, b</sup> Medias con diferente letra en la columna son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

### 8.3 Determinación de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y contenido de proteína cruda (PC) según el cultivar de maíz

#### 8.3.1 Concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina según el cultivar de maíz

Los resultados que se encontraron de los cultivares fueron diferentes en concentración de fibra insoluble en detergente neutro ( $p < 0.0001$ ). El cultivar B Aspros<sup>®</sup>, tuvo una concentración mayor ( $p < 0.05$ ) de FDN (70.58%) en comparación con los criollos A y C (Tabla 8) en cinco y seis unidades porcentuales, respectivamente.

Los cultivares fueron diferentes en concentración de fibra insoluble detergente ácido ( $p < 0.0001$ ). Se observó que el cultivar B Aspros<sup>®</sup>, tuvo una concentración mayor ( $p < 0.05$ ) de FDA en comparación con el criollo C en 2.5 unidades porcentuales, mientras que el criollo A tuvo una concentración similar al B Aspros<sup>®</sup> y C (Tabla 8). Los cultivares fueron diferentes en concentración de lignina ( $p < 0.0001$ ), siendo el B Aspros<sup>®</sup>, el de concentración mayor ( $p < 0.05$ ) de lignina con 3.25% (0.76 más respecto al criollo A y 1.05 más respecto al criollo C, respectivamente) (Tabla 8). Por tanto, en resumen el híbrido B Aspros 1503 superó en FDN y lignina al resto de los cultivares, y únicamente similar al cultivar criollo A en FDA y superior al criollo C.

**Tabla 8.** Promedios de concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina en tres cultivares de maíz.

Genotipo de maíz	FDN	FDA	Lignina
A Criollo	65.35 <sup>b</sup>	34.54 <sup>ab</sup>	2.49 <sup>b</sup>
B Aspros 1503 <sup>®</sup>	70.58 <sup>a</sup>	36.34 <sup>a</sup>	3.25 <sup>a</sup>
C Criollo	64.56 <sup>b</sup>	33.78 <sup>b</sup>	2.20 <sup>b</sup>

a, b Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

#### **8.4 Concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) y proteína cruda (PC) según el cultivar de maíz y colonización con *Ganoderma lucidum***

La concentración de FDN en las muestras para determinar las diferencias entre el rastrojo sin esterilizar, después de esterilizar y colonizado con *Ganoderma lucidum* fue diferente ( $p < 0.0001$ ) como se muestra en la Figura 7. En el rastrojo sin esterilizar, los cultivares fueron diferentes ( $p < 0.05$ ). El criollo A tuvo menor cantidad ( $p < 0.05$ ) de FDN respecto al cultivar B Aspros® y el criollo C, quienes tuvieron 9 y 5 unidades porcentuales más, respectivamente y resultando más alto ( $p < 0.05$ ) en concentración el cultivar B Aspros® (Figura 7).

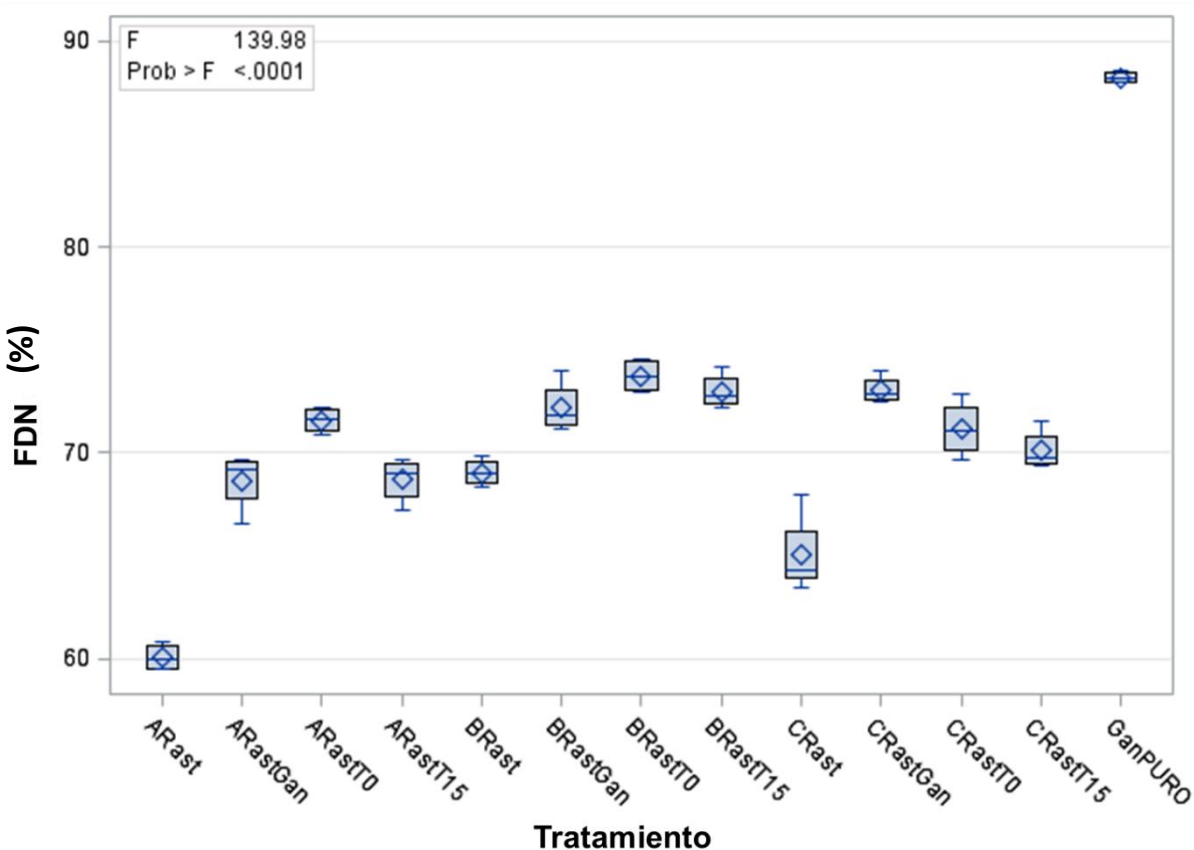
En el rastrojo esterilizado e inmediatamente secado, los cultivares tuvieron concentración similar de FDN ( $p > 0.05$ ). Al comparar estos tratamientos con sus respectivos rastrojos sin tratar, se tuvo un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) en la concentración FDN en cada uno de los cultivares, siendo de 11.6, 4.8 y 6.2 unidades porcentuales para el criollo A, cultivar B Aspros® y criollo C, respectivamente (Figura 7).

Los cultivares tuvieron concentración diferente ( $p < 0.05$ ) de FDN para el rastrojo esterilizado y mantenido en la caja Petri por 15 días. El rastrojo del cultivar B Aspros® tuvo la mayor ( $p < 0.05$ ) concentración de FDN (73%) respecto del criollo C (70.1%) y el criollo A (68.7%). La concentración de FDN aumentó ( $p < 0.05$ ) con respecto al rastrojo sin tratar en 8.7, 4.0 y 5.1 unidades porcentuales para los cultivares criollo A, B Aspros® y criollo C, respectivamente. Comparando con el rastrojo esterilizado y después secado, los cultivares B Aspros® y criollo C mantuvieron concentraciones similares; sólo el criollo A presentó menor ( $p < 0.05$ ) concentración de FDN (2.9 unidades porcentuales) al rastrojo respectivo esterilizado y secado, pero mayor (8.7 unidades porcentuales) contra el propio rastrojo sin esterilizar (Figura 7).

Los rastrojos colonizados con *G. lucidum*, mantuvieron concentraciones altas ( $p < 0.05$ ) de FDN. Para estos tratamientos, el criollo A tuvo la menor concentración (68.6%) que los cultivares B Aspros® y criollo C que fueron iguales ( $p > 0.05$ ) entre ellos. Al comparar, la colonización con *G. lucidum* con los respectivos rastrojos sin tratar, la concentración de FDN fue mayor ( $p < 0.05$ ) en 8.6, 3.2 y 8.1 unidades porcentuales para los cultivares criollo A, B Aspros® y criollo C, respectivamente. En el cultivar B Aspros® el rastrojo

colonizado fue similar en concentración de FDN a los demás rastrojos que fueron esterilizados; el criollo C y el rastrojo colonizado fue igual en concentración de FDN a su respectivo tratamiento de esterilizado, pero fue diferente ( $p < 0.05$ ) al rastrojo humedecido por 15 días en la caja Petri; mientras que para el criollo A el tratamiento de rastrojo colonizado fue igual en concentración de FDN al rastrojo esterilizado y mantenido húmedo por 15 días y diferente al rastrojo esterilizado y secado (Figura 7).

*G. lucidum* en su estado puro mostró ser muy ( $p < 0.05$ ) fibroso, al encontrarse valores de FDN que alcanzaron 88.2% (Figura 7).



**Figura 7.** Concentración de fibra detergente neutro (FDN) en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con *Ganoderma lucidum*.

ARast=Rastrojo cultivar criollo A (sin esterilizar ni colonizar). ARastGan=Rastrojo cultivar criollo A colonizado con *Ganoderma lucidum*. ARastT0=Rastrojo cultivar criollo A esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. ARastT15=Rastrojo cultivar criollo A

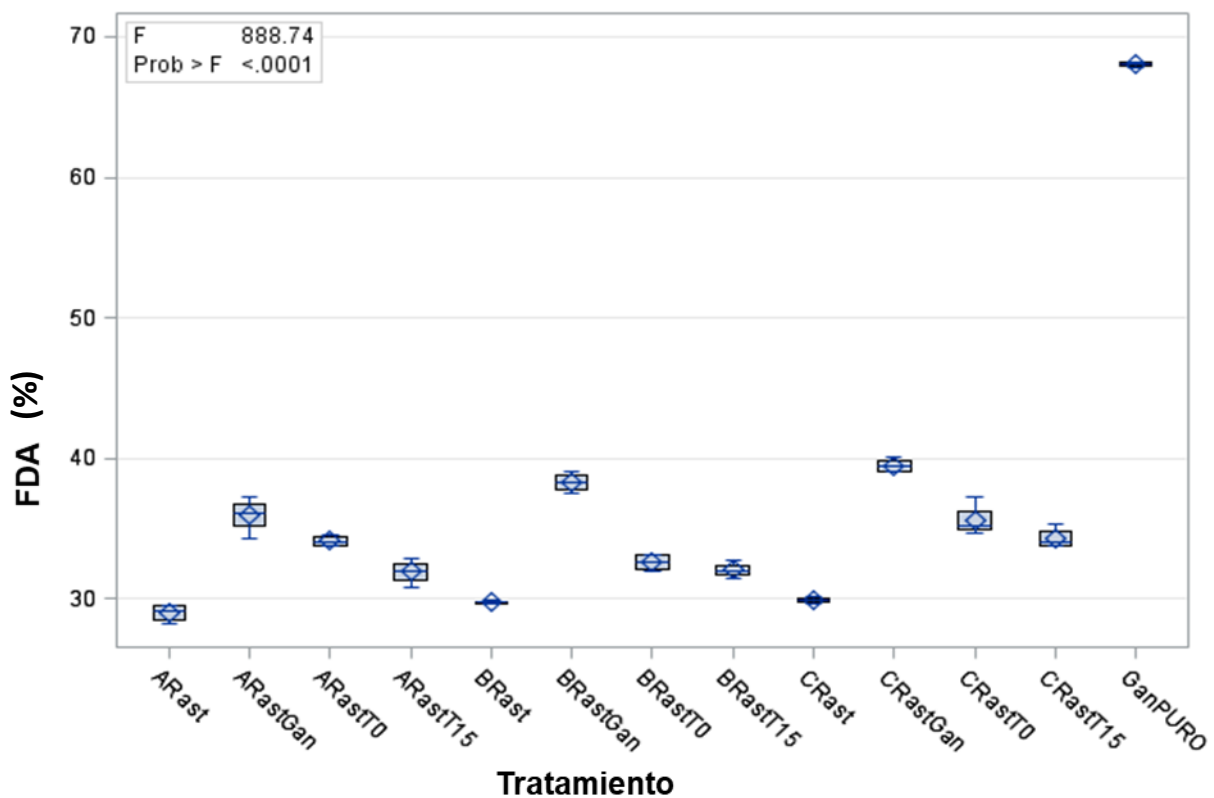
esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. BRast=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> (sin esterilizar ni colonizar). BRastGan=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> colonizado con *Ganoderma lucidum*. BRastT0=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. BRastT15=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. CRast=Rastrojo cultivar criollo C (sin esterilizar ni colonizar). CRastGan=Rastrojo cultivar criollo C colonizado con *Ganoderma lucidum*. CRastT0=Rastrojo cultivar criollo C esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. CRastT15=Rastrojo cultivar criollo C esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. GanPURO=*Ganoderma lucidum* en estado puro.

La concentración de FDA en los tratamientos del rastrojo sin esterilizar, después de esterilizar colonizado con *Ganoderma lucidum* (Figura 8) fue diferente ( $p < 0.0001$ ). El rastrojo de los cultivares sin esterilizar tuvieron concentraciones de FDA similares y fueron las más bajas (29.0 a 29.9%) comparadas a los otros tratamientos. El rastrojo esterilizado y secado el mismo día, tuvo mayor concentración ( $p < 0.05$ ) de FDA que el rastrojo sin esterilizar con diferencias de 5.1, 2.8 y 5.7 unidades porcentuales para los cultivares criollo A, B Aspros<sup>®</sup> y criollo C. Entre los cultivares, sólo se encontró diferencia entre el rastrojo esterilizado del criollo C y el B Aspros<sup>®</sup> con 3 unidades porcentuales.

El rastrojo esterilizado y mantenido húmedo por 15 días, tuvo también mayor concentración ( $p < 0.05$ ) de FDA en comparación al rastrojo sin tratar en proporciones de 2.9, 2.2 y 4.4 unidades porcentuales en los cultivares criollo A, B Aspros<sup>®</sup> y criollo C, respectivamente. Al comparar este tratamiento de rastrojo con el esterilizado sólo se detectó diferencia ( $p < 0.05$ ) en el criollo A de 2.2 unidades porcentuales, los otros dos cultivares fueron iguales. Así mismo, entre cultivares para este tratamiento sólo existió diferencia entre los dos criollos, donde el C tuvo 2.4 unidades porcentuales más que el A (Figura 8).

El rastrojo colonizado con *G. lucidum* tuvo mayor concentración ( $p < 0.05$ ) de FDA comparado con el rastrojo sin tratar en el orden de 7.0, 8.5 y 9.6 para los cultivares criollo A, B Aspros<sup>®</sup> y criollo C, respectivamente. Al comparar este tratamiento con el rastrojo esterilizado las diferencias fueron de 1.9, 5.7 y 3.9 unidades porcentuales para los

cultivares criollo A, B Aspros® y criollo C, respectivamente. Las diferencias en concentración de FDA para el rastrojo colonizado y el rastrojo esterilizado y mantenido húmedo por 15 días fueron de 4.1, 6.3 y 5.2 unidades porcentuales para los cultivares criollo A, B Aspros® y criollo C, respectivamente. Entre cultivares dentro de este tratamiento sólo se encontró diferencia ( $p < 0.05$ ) en la concentración de FDA para el criollo C con el Criollo A por 3.5 unidades porcentuales. El hongo *G. lucidum* en su estado puro tuvo la concentración mayor ( $p < 0.05$ ) de FDA respecto a los demás tratamientos alcanzando un valor de 68% (Figura 8).



**Figura 8.** Concentración de fibra detergente ácido (FDA) en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con *Ganoderma lucidum*.

ARast=Rastrojo cultivar criollo A (sin esterilizar ni colonizar). ARastGan=Rastrojo cultivar criollo A colonizado con *Ganoderma lucidum*. ARastT0=Rastrojo cultivar criollo A esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. ARastT15=Rastrojo cultivar criollo A esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. BRast=Rastrojo cultivar B



Aspros 1503<sup>®</sup> (sin esterilizar ni colonizar). BRastGan=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> colonizado con *Ganoderma lucidum*. BRastT0=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. BRastT15=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. CRast=Rastrojo cultivar criollo C (sin esterilizar ni colonizar). CRastGan=Rastrojo cultivar criollo C colonizado con *Ganoderma lucidum*. CRastT0=Rastrojo cultivar criollo C esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. CRastT15=Rastrojo cultivar criollo C esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. GanPURO=*Ganoderma lucidum* en estado puro.

La concentración de lignina en los tratamientos del rastrojo sin esterilizar, después de esterilizar y colonizado con *Ganoderma lucidum* (Figura 9) fue diferente ( $p < 0.0001$ ).

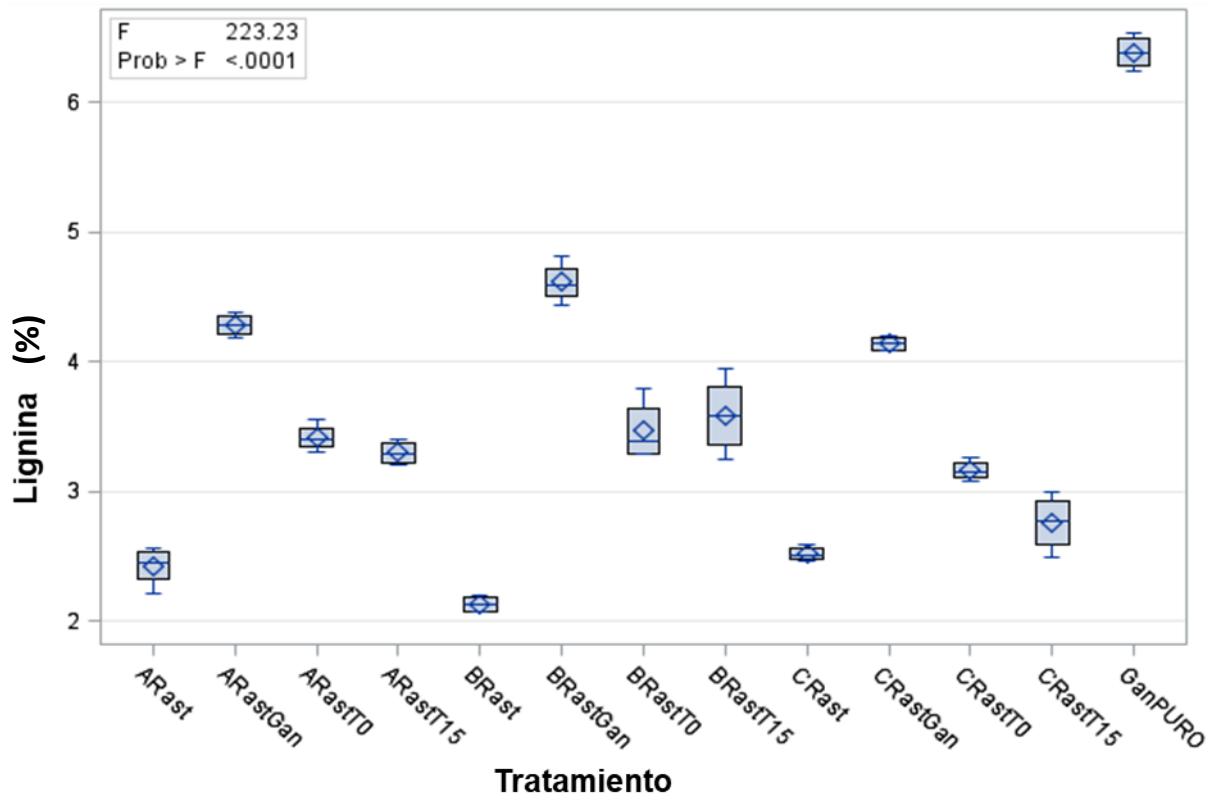
Los rastrojos de los cultivares de maíz en su estado natural mostraron los valores más bajos de lignina (2.1-2.5%); el criollo C fue diferente ( $p < 0.05$ ) del B Aspros<sup>®</sup> por 0.4 unidades porcentuales (Figura 9).

El rastrojo esterilizado tuvo mayor ( $p < 0.05$ ) concentración de lignina que el sin tratar en el orden de 1.0, 1.4 y 0.7 unidades porcentuales para los cultivares criollo A, B Aspros<sup>®</sup> y criollo C, respectivamente; dentro de cultivares para este tratamiento no hubo diferencias (Figura 9).

Para el tratamiento de esterilizado y mantenido el rastrojo humedecido por 15 días, la concentración de lignina fue mayor para el tratamiento sin esterilizar en el orden de 0.9, 1.5 para los cultivares criollo A y B Aspros<sup>®</sup>, excepto en el criollo C donde se encontró mayor concentración de lignina para el tratamiento esterilizado por 0.4 unidades porcentuales. El criollo C resultó con menor concentración de lignina en el tratamiento de esterilizado y humedecido por 15 días a los cultivares criollo A y B Aspros<sup>®</sup> por 0.5 y 0.8 unidades porcentuales (Figura 9).

La concentración de lignina para el rastrojo colonizado con *G. lucidum* de los tres cultivares fue mayor ( $p < 0.05$ ) para los otros tratamientos de rastrojo. Las diferencias contra el rastrojo sin tratar fueron del orden de 1.9, 2.5 y 1.6 unidades porcentuales para los cultivares criollo A, B Aspros<sup>®</sup> y criollo C, respectivamente. Con relación a los tratamientos esterilizado y esterilizado con humedad por 15 días, el rastrojo colonizado

tuvo mayor concentración de lignina alrededor de 1 unidad porcentual para los cultivares criollo A y B Aspros®, mientras que para los mismos tratamientos del rastrojo del criollo C la diferencia fue de 0.9 y 1.3 unidades porcentuales más para el colonizado. Dentro de este tratamiento con *G. lucidum*, el Criollo C tuvo menor concentración de lignina que el B Aspros® por 0.5 unidades porcentuales. El hongo en su estado puro alcanzó la concentración de lignina más alta con 6.4% (Figura 9).



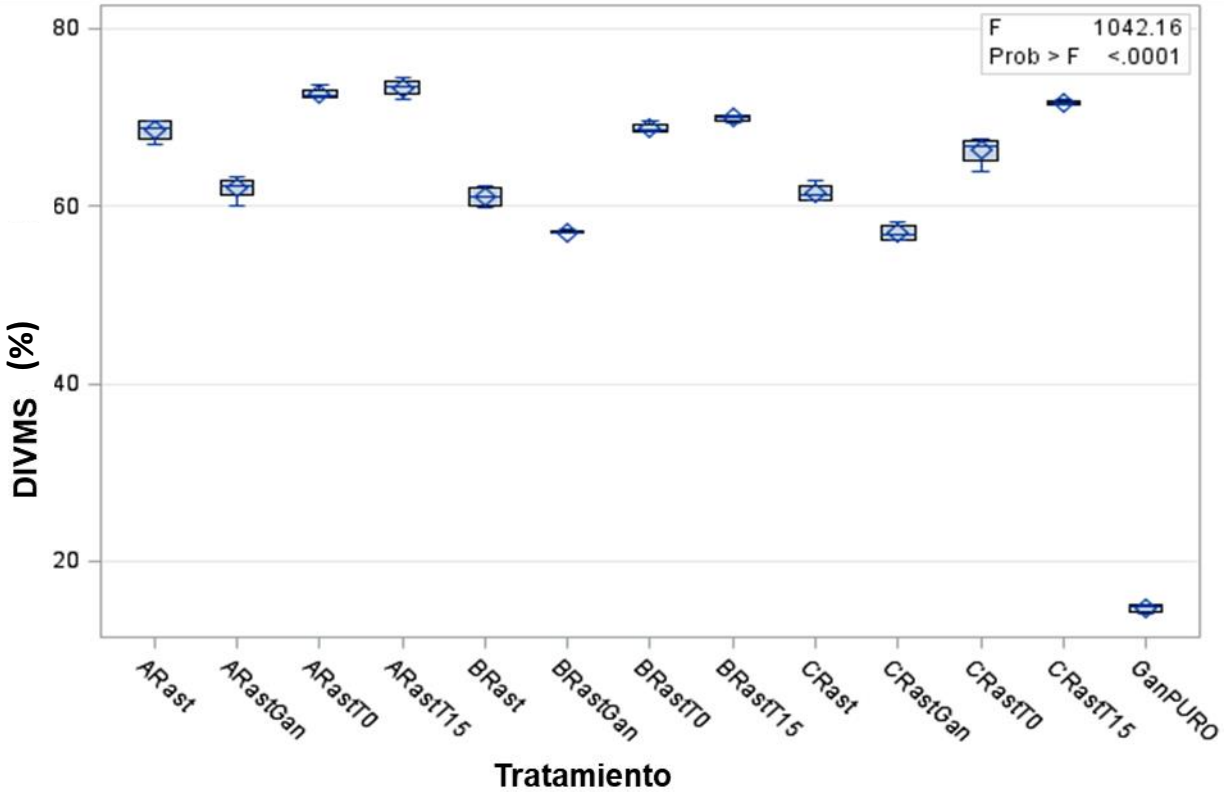
**Figura 9.** Concentración de lignina en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con *Ganoderma lucidum*.

ARast=Rastrojo cultivar criollo A (sin esterilizar ni colonizar). ARastGan=Rastrojo cultivar criollo A colonizado con *Ganoderma lucidum*. ARastT0=Rastrojo cultivar criollo A esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. ARastT15=Rastrojo cultivar criollo A esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. BRast=Rastrojo cultivar B Aspros 1503® (sin esterilizar ni colonizar). BRastGan=Rastrojo cultivar B Aspros 1503® colonizado con *Ganoderma lucidum*. BRastT0=Rastrojo cultivar B Aspros 1503®

esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. BRastT15=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. CRast=Rastrojo cultivar criollo C (sin esterilizar ni colonizar). CRastGan=Rastrojo cultivar criollo C colonizado con *Ganoderma lucidum*. CRastT0=Rastrojo cultivar criollo C esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. CRastT15=Rastrojo cultivar criollo C esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. GanPURO=*Ganoderma lucidum* en estado puro.

La DIVMS en el rastrojo sin esterilizar, esterilizado y mantenido humedecido a cero y 15 días colonizado con *Ganoderma lucidum* fue diferente ( $p < 0.0001$ ) como se muestra en la Figura 10. Los rastrojos sin tratar tuvieron valores intermedios de DIVMS comparados con los rastrojos esterilizados y colonizados. El criollo A fue más digestible ( $p < 0.05$ ) que el B Aspros<sup>®</sup> y criollo C en 7.5 y 7.1 unidades porcentuales, respectivamente. Los tratamientos de rastrojo que se esterilizaron y secaron y los esterilizados y mantenidos humedecidos por 15 días tuvieron mayor ( $p < 0.05$ ) digestibilidad promedio que los rastrojos sin tratar (70.45 vs 63.7%). En este grupo de tratamientos, el criollo A tuvo mayor ( $p < 0.05$ ) digestibilidad que el B Aspros<sup>®</sup> y criollo C (72.6 y 73.4 vs 68.8-69.9 y 66.3 y 71.7%, respectivamente).

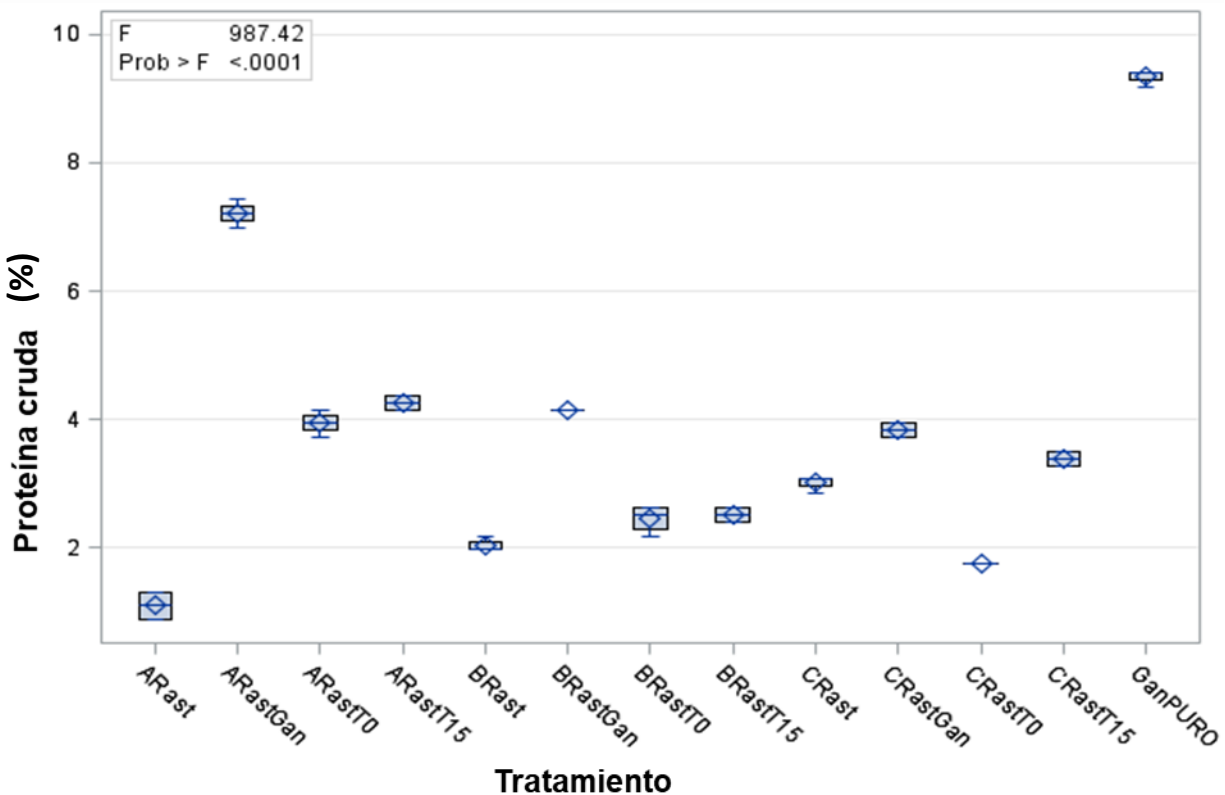
El rastrojo colonizado tuvo valores menores de digestibilidad que los rastrojos sin tratar y esterilizados alcanzando valores de 62.0, 57.1 y 57.0 para el criollo A, B Aspros<sup>®</sup> y criollo C, respectivamente. En este tratamiento colonizado, el criollo A mostró mayor ( $p < 0.05$ ) que los otros dos cultivares. El hongo en su estado puro tuvo la digestibilidad más baja (14.7%) (Figura 10).



**Figura 10.** Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con *Ganoderma lucidum*.

ARast=Rastrojo cultivar criollo A (sin esterilizar ni colonizar). ARastGan=Rastrojo cultivar criollo A colonizado con *Ganoderma lucidum*. ARastT0=Rastrojo cultivar criollo A esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. ARastT15=Rastrojo cultivar criollo A esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. BRast=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> (sin esterilizar ni colonizar). BRastGan=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> colonizado con *Ganoderma lucidum*. BRastT0=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> esterilizado y secado el mismo día a tiempo cero. BRastT15=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. CRast=Rastrojo cultivar criollo C (sin esterilizar ni colonizar). CRastGan=Rastrojo cultivar criollo C colonizado con *Ganoderma lucidum*. CRastT0=Rastrojo cultivar criollo C esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. CRastT15=Rastrojo cultivar criollo C esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. GanPURO=*Ganoderma lucidum* en estado puro.

La PC en el rastrojo sin esterilizar, después de esterilizar y colonizado con *Ganoderma lucidum* fue diferente ( $p < 0.0001$ ) como se muestra en la Figura 11. En el rastrojo sin esterilizar se encontraron las menores ( $p < 0.05$ ) concentraciones de PC, específicamente para los cultivares criollo A y B Aspros® con 1.1 y 2.0%, respectivamente. El criollo C fue superior ( $p < 0.05$ ) a los dos cultivares referidos, alcanzando 3% de PC. Con la excepción del cultivar criollo C, los rastrojos sometidos a esterilización tuvieron mayores ( $p < 0.05$ ) concentraciones de PC que sus respectivos rastrojos sin tratar. Así mismo, los rastrojos colonizados con *G. lucidum* mostraron mayor ( $p < 0.05$ ) concentración de PC que sus respectivos rastrojos sin inocular y esterilizados alcanzando valores de 7.2, 4.2 y 3.8 % para el criollo A, B Aspros® y criollo C, respectivamente. *G. lucidum* en su estado puro tuvo la concentración mayor ( $p < 0.05$ ) respecto a todos los demás tratamientos alcanzando un valor de 9.4% (Figura 11).



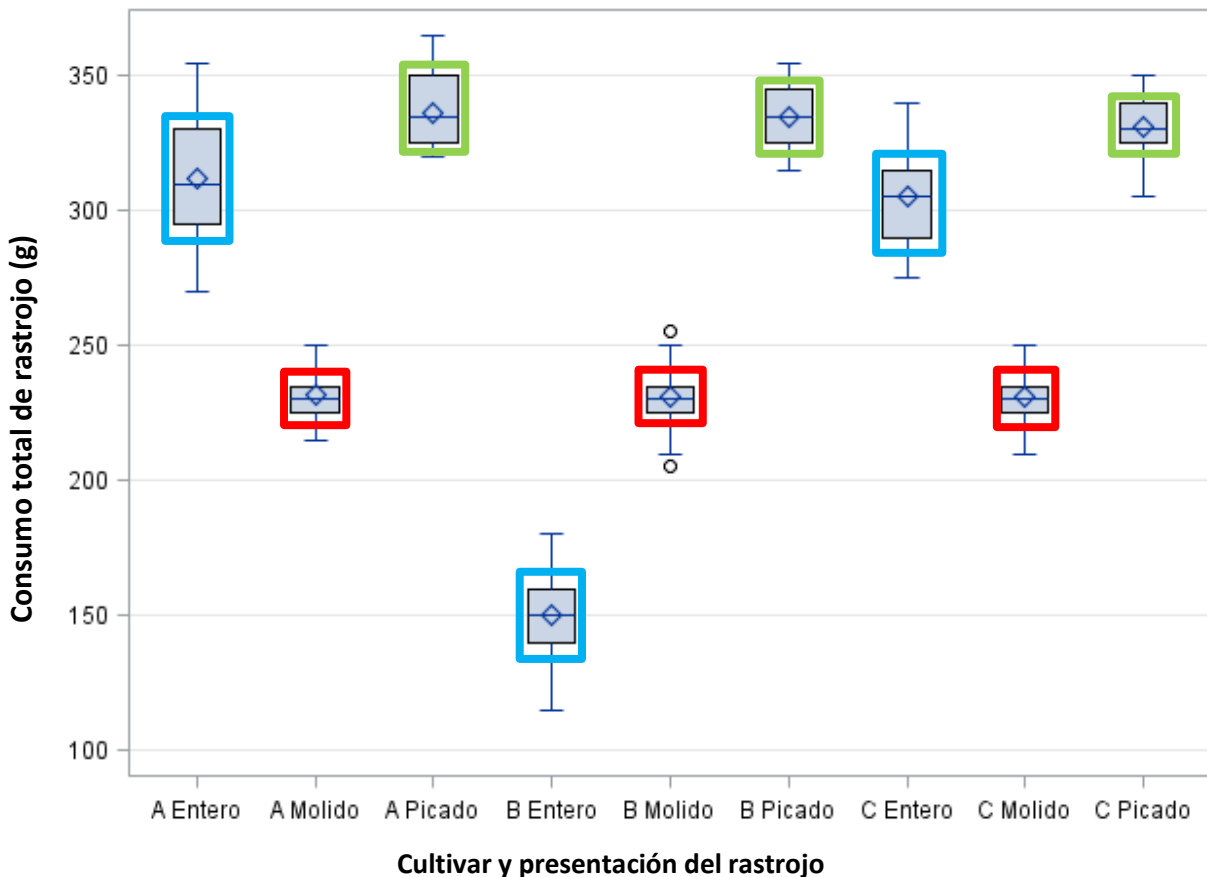
**Figura 11.** Proteína cruda (PC) en tres cultivares de maíz sin colonizar y colonizado con *Ganoderma lucidum*.

ARast=Rastrojo cultivar criollo A (sin esterilizar ni colonizar). ARastGan=Rastrojo cultivar criollo A colonizado con *Ganoderma lucidum*. ARastT0=Rastrojo cultivar criollo A esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. ARastT15=Rastrojo cultivar criollo A esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. BRast=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> (sin esterilizar ni colonizar). BRastGan=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> colonizado con *Ganoderma lucidum*. BRastT0=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. BRastT15=Rastrojo cultivar B Aspros 1503<sup>®</sup> esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. CRast=Rastrojo cultivar criollo C (sin esterilizar ni colonizar). CRastGan=Rastrojo cultivar criollo C colonizado con *Ganoderma lucidum*. CRastT0=Rastrojo cultivar criollo C esterilizado y secado el mismo día tiempo cero. CRastT15=Rastrojo cultivar criollo C esterilizado y mantenido húmedo por 15 días en caja Petri. GanPURO=*Ganoderma lucidum* en estado puro.

## **8.5 Pruebas de preferencia en el consumo del rastrojo de maíz por rumiantes**

### **8.5.1 Preferencia de consumo por presentación física del rastrojo de maíz**

El consumo de rastrojo de maíz de acuerdo a la presentación física de la planta y cultivar (Figura 12), fue diferente ( $p < 0.0001$ ). El consumo de rastrojo de maíz en presentación de planta entera del cultivar B Aspros<sup>®</sup>, fue menor ( $p < 0.05$ ) al consumo de los criollos A y C; que entre ellos, fue similar (238.58 g, 293.38 g y 289.11 g respectivamente). El consumo de rastrojo de maíz en presentación picado fue mayor ( $p < 0.05$ ) sin importar el genotipo, 334.10 g comparado con 255.71 g de planta entera y 231.25 g de planta molida.



**Figura 12.** Consumo total de rastrojo por cultivar de maíz y por presentación física de la planta.

### 8.5.2 Preferencia de consumo por tratamiento de sabor al rastrojo de maíz

El consumo de rastrojo de maíz (Figura 13) según el sabor fue diferente ( $p < 0.0001$ ). El rastrojo de maíz asperjado con licuado de alfalfa fue el de mayor consumo ( $p < 0.05$ ) sin importar el genotipo, con 336.50 g. El rastrojo de maíz amonificado fue el de menor consumo ( $p < 0.05$ ) sin importar el genotipo con 154.91 g. El consumo de los demás tratamientos, asperjado con melaza, revuelto con sales minerales y colonizado con *Ganoderma lucidum*, fue de 291.45 g, 252.24 g y 220.86 g respectivamente (Figura 13).

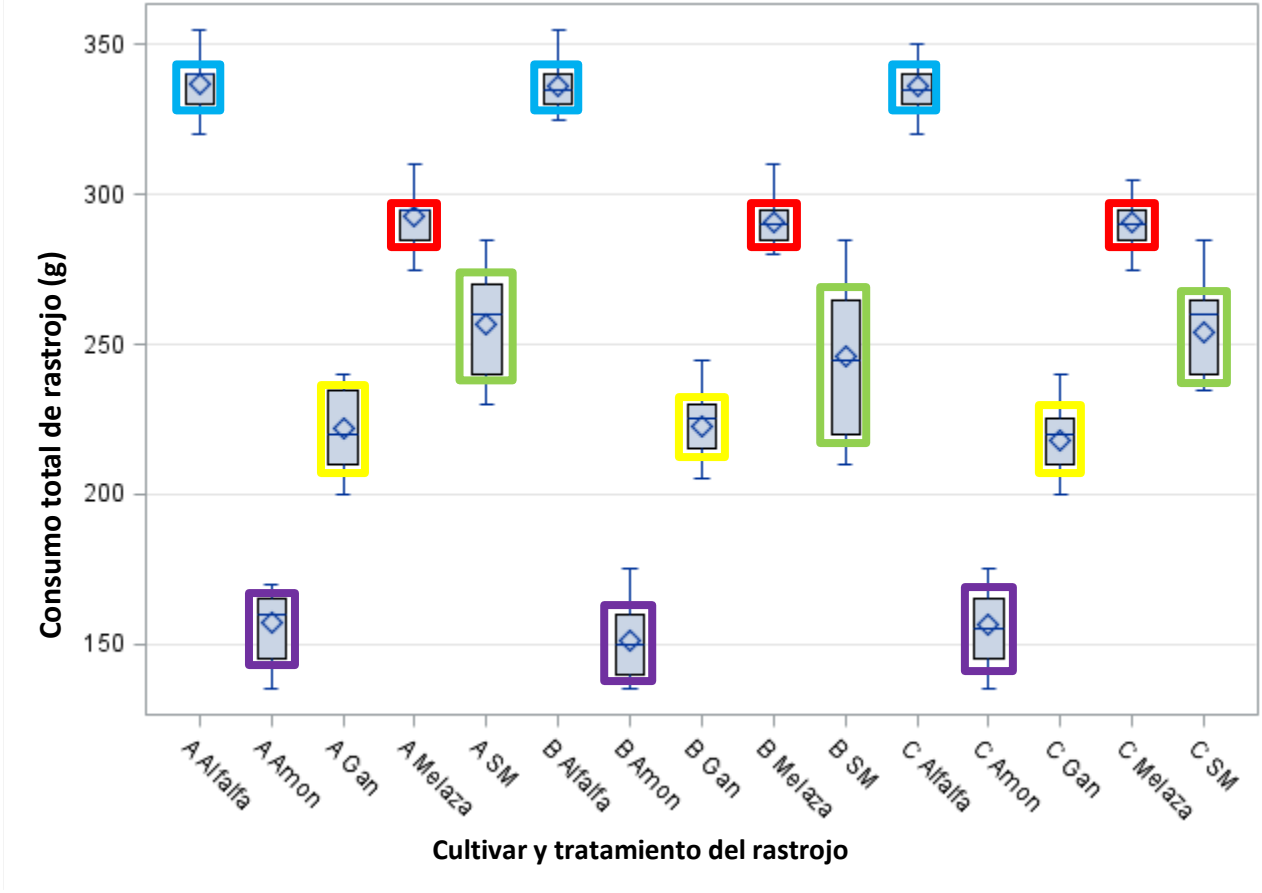


Figura 13. Preferencia de consumo por cultivar de maíz por tratamiento de sabor.



## IX. DISCUSIÓN

### 9.1 Climograma

Según Gómez, (2002), entre los 2,000 a 3,000 m de altitud, en que se encuentra el estado de Puebla, con clima templado húmedo y semiseco, los requerimientos hídricos necesarios para cultivar maíz, varían entre 350 a 700 mm de lluvia de temporal. De acuerdo con lo que llovió, apenas se alcanzaron 247 mm de mayo a noviembre, por tanto, se deduce que hubo restricciones de humedad fuertes.

De acuerdo a González *et al.* (2012) se producen aproximadamente entre 6 - 9 t ha<sup>-1</sup> de maíz con una precipitación pluvial entre 500 - 800 mm. Esto implica que al reducirse la cantidad de agua absorbida el rendimiento disminuye drásticamente. Ayala *et al.* (2013) reportaron que los productores de maíz que cosechan  $\leq 1$  t ha<sup>-1</sup>, es debido principalmente a la escasez de agua, situación que prevalece en los sistemas de temporal. Aunado a la precipitación, las temperaturas fueron mayores a los 29 °C, lo que provoca mayor evaporación y, por tanto, no se alcanzan a cubrir las necesidades mínimas de producción.

### 9.2 Días al 50% de floración masculina y femenina

La floración masculina del cultivar Aspros 1503<sup>®</sup>, mostró ser más tardía en comparación de los cultivares criollos. Este cultivar de acuerdo a su ficha técnica (Aspros semillas<sup>®</sup>) está catalogado como de ciclo vegetativo intermedio, para la modalidad riego y de buen temporal, con días de floración masculina entre 70 – 75 días y 135 – 140 días de madurez. En la condición ambiental en que se sembró este cultivar resultó más tardío, pues tuvo 112 días para alcanzar el 50% de floración masculina. Las variedades criollas por su parte, fueron un poco más precoces. Dichas variedades, han sido seleccionados empíricamente año con año para ajustarse a las condiciones prevalentes en la que se le pone bastante atención de que tengan, en cierto grado, un comportamiento precoz. Muñoz *et al.* (2013) evidencian tal situación, al encontrar que algunas variedades criollas resultan precoces aunque no tengan la tendencia a ser altas productoras de rastrojo. Aunque se menciona que las variedades criollas pueden adaptarse mejor a condiciones

ambientales restrictivas, en esta ocasión no se pudieron tener las condiciones ambientales mínimas favorables para la producción de grano.

### **9.3 Determinación de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y contenido de proteína cruda (PC)**

#### **9.3.1 Concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina según el cultivar de maíz**

##### **FDN**

El cultivar más fibroso fue Aspros 1503<sup>®</sup>. Este híbrido tiene una arquitectura de planta con hojas erectas, característica que evidencia mayor rigidez y que según Muñoz *et al.* (2011), los cultivares criollos presentan un menor contenido de FDN de hoja en rastrojo comparado con los cultivares híbridos que van en intervalos de 65.2 a 75.3% y de 73.3 a 81.1%, respectivamente.

Elizondo *et al.* (2003) comparando el maíz criollo forrajero adaptado a la zona alta de Cartago, Costa Rica, tuvo menor ( $p < 0.05$ ) de concentración de FDN (70.6%) comparado con el maíz híbrido 3 002 W blanco (75.46%) sembrados en igualdad de condiciones y en el mismo estado fisiológico de la planta.

##### **FDA**

El contenido de FDA en los cultivares criollos representaron ser menos fibrosos que el cultivar comercial, esto concuerda con los resultados de Elizondo *et al.*, (2003) que obtuvieron una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) y una concentración de 42.16-45.32%, criollo-híbrido respectivamente. Muñoz *et al.*, (2013) confirma estos resultados al concluir que los cultivares criollos son menos fibrosos que los comerciales.

##### **Lignina**

La concentración de lignina en el híbrido Aspros 1503 también fue mayor que los criollos. Este componente aumenta por tanto la fracción de fibra. Se ha observado que al haber mayor concentración de lignina se tiene menor digestibilidad, aspecto evidenciado por

Casperson *et al.* (2018), Basurto *et al.* (2012) y Undi *et al.* (2001) quienes mencionan que los forrajes con mayor contenido de lignina son menos digeribles para los animales.

#### **9.4 Concentración de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) y proteína cruda (PC) según el cultivar de maíz y colonización con *Ganoderma lucidum***

##### **FDN**

Los rastrojos esterilizados a diferencia de los que no lo están, tuvieron pérdida de sustancias solubles en agua. Esto ha sido confirmado por Tuyen *et al.* (2013) y He *et al.* (2019), en donde se han detectado pérdidas de carbohidratos, proteínas solubles, ácidos orgánicos e inorgánicos y minerales. Esta situación explica el porqué de la presencia de menor concentración de fibras en los rastrojos sin esterilizar, pues al no tener pérdidas de nutrientes por lixiviado su contenido de sustancias solubles, principalmente en lo que resta del contenido celular, en términos de peso, es mayor. Se da por tanto una dilución en la determinación de concentración de fibras.

Los rastrojos esterilizados e inmediatamente secados, al igual que los rastrojos esterilizados y mantenidos en caja de Petri por 15 días, son más fibrosos de acuerdo a su concentración de FDN. Esto lo confirma Tuyen *et al.*, (2013) y He *et al.*, (2019) cuando infieren que los sustratos al ser esterilizados en autoclave sufren una pérdida de nutrientes en comparación con las muestras originales. No obstante, se observa que en el criollo A existe un efecto en la pared celular al comparar el rastrojo esterilizado y secado a tiempo cero con el rastrojo esterilizado y mantenido húmedo por 15 días. Es posible que por presentar menores cantidades de pared celular (ya sea por paredes más delgadas y/o diferente composición química), el efecto de hidrólisis haya sido mayor.

Los rastrojos colonizados con *Ganoderma lucidum* resultaron ser más fibrosos como lo demostró su contenido de FDN, en comparación de los rastrojos sin esterilizar. Esto concuerda con lo que refieren Tao *et al.* (2016) y He *et al.* (2019) al concluir que, no todas las cepas de hongos provocan una degradación de paredes celulares y como consecuencia tampoco se mejora el valor nutricional del rastrojo y en el caso específico del rastrojo de maíz, no mejoran la calidad nutritiva. La concentración de compuestos fibrosos en el micelio del hongo es elevada, varios estudios señalan que el hongo *G.*

*lucidum* produce varios polisacáridos que forman fibra como la manosa, xilosa, arabinosa, galactosa, glucosa y ramnosa (Evsenko *et al.*, 2009; Zhou *et al.*, 2014; Hu *et al.*, 2017; Ma *et al.*, 2017) además de quitina (Mesa *et al.*, 2015) que incrementan el contenido de compuestos que conforman paredes celulares y que a esto sea debido el incremento en la concentración de FDN. Es posible también que el tiempo que estuvo bajo colonización y desarrollo micelial del hongo no haya sido el suficiente para que se diera un efecto significativo en la degradación de paredes celulares solubilizando lignina, se ha observado que *G. lucidum* comienza a degradar lignina de 3-5 meses después de la inoculación (Zhou *et al.*, 2018) y en este estudio sólo se tuvieron 30 días bajo inoculación, por lo que se infiere que no fue tiempo suficiente para detectarse un efecto en los componentes de la pared celular”. Aparentemente, el hongo se alimentó primeramente del contenido celular del rastrojo y por eso es que no se vio efecto significativo en la concentración de FDN.

## **FDA**

El comportamiento del contenido de FDA en los rastrojos fue similar al de FDN. En los rastrojos sin esterilizar tuvieron menor cantidad de FDA respecto a los esterilizados y secados el mismo día, los esterilizados y mantenidos en caja Petri 15 días y los colonizados con *Ganoderma lucidum*. Dado que es una medición secuencial, el peso que se elimina de los compuestos del contenido celular debido al lavado y la presión del vapor que se genera por el autoclave y la solubilización de algunos otros compuestos, aumenta las proporciones relativas de componentes en fibras (Tuyen *et al.*, 2013). En esta variable se observa que los cultivares criollos al tener menor concentración de fibra o posiblemente diferente composición de la misma, fueron más propensos a la hidrólisis, principalmente en el tratamiento que se mantuvo hasta los 15 días humedecido y sin colonización, caso que no se observó en el híbrido. Así mismo, los tratamientos con el hongo *G. lucidum* mostraron mayores concentraciones de FDA por la composición del mismo que se explicó anteriormente (Evsenko *et al.*, 2009; Zhou *et al.*, 2014; Hu *et al.*, 2017; Ma *et al.*, 2017).

## **Lignina**

Los rastrojos esterilizados y secados el mismo día y los esterilizados y guardados en cajas Petri por 15 días tuvieron mayor concentración de lignina que los rastrojos sin esterilizar, esta condición concuerda con las conclusiones de Tuyen *et al.*, (2013).

Los colonizados con *Ganoderma lucidum*, mostraron las mayores concentraciones. Según Arora y Sharma, (2009) algunos hongos comestibles, tienen la capacidad de degradar por medio de enzimas y otros compuestos, la lignina de los forrajes; no obstante, se observa en el rastrojo de maíz con el uso de *G. lucidum* este efecto no ocurrió en la extensión que se esperaba. Esto posiblemente se deba a que este hongo está constituido de compuestos como la quitina (Mesa *et al.*, 2015) y trazas de lignina (Evsenko *et al.*, 2009; Zhou *et al.*, 2014; Hu *et al.*, 2017; Ma *et al.*, 2017) por lo que, los rastrojos colonizados con este hongo, muestran mayor contenido en esta variable. Posiblemente, debido a ello, la concentración de dichos compuestos estuvo en mayores cantidades en los tratamientos colonizados, dándose así un efecto de aumento.

## **DIVMS**

Los rastrojos esterilizados y secados el mismo día, así como los esterilizados y guardados 15 días en cajas Petri, fueron los más digestibles en comparación a los rastrojos sin esterilizar y a los colonizados con *Ganoderma lucidum*. Se observa que, aunque estos tratamientos tuvieron mayor concentración de FDN y FDA, la presión, la temperatura y posiblemente el vapor presentado en la esterilización, tuvieron un efecto en el aumento de la digestibilidad. Madigan *et al.* (2012) y Albertó (2008), mencionan que los sustratos al ser esterilizados a temperaturas arriba de los 100°C y con cierto tiempo de duración del tratamiento térmico (más de 45 minutos) y la humedad, las macromoléculas pierden estructura y función por desnaturalización e hidrólisis. Stölzer y Grabbe (1991), indicaron que las temperaturas mayores de 85°C rompen parcialmente puentes de hidrógeno del complejo lignina-celulosa solubilizando los azúcares simples. En su estado natural, el rastrojo del híbrido Aspros 1503® y del criollo C fueron menos digestibles que el criollo A, por lo que queda de manifiesto que existen diferencias en digestibilidad entre cultivares. Asimismo, los valores más bajos de digestibilidad se observaron en los tratamientos colonizados con *G. lucidum*, situación en la que influyó la

presencia de los componentes del micelio del hongo como quitina, lignina y polisacáridos estructurales (Evsenko *et al.*, 2009; Zhou *et al.*, 2014; Hu *et al.*, 2017; Ma *et al.*, 2017), el cual resulta ser poco digerible.

## **PC**

El contenido de PC en el rastrojo de maíz de los diferentes cultivares se vio favorecido al ser colonizado con *Ganoderma lucidum*. En este hongo, se han aislado del micelio varias proteínas, como la LZ-8 la cual contiene 110 residuos de aminoácidos (Paterson, 2006). You y Lin (2002) encontraron un complejo polisacárido-proteína que contiene una cantidad diversa de aminoácidos esenciales. Este contenido de aminoácidos posiblemente permitió elevar el contenido proteico del rastrojo. También Tuyen *et al.*, (2013), mencionan que algunas cepas como *Ceriporiopsis subvermispora*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus eryngii* o *Pleurotus ostreatus*, elevan el contenido de proteína cruda de los sustratos.

Respecto a los rastrojos esterilizados y mantenidos húmedos en caja Petri a tiempo cero y tiempo 15 que tuvieron un elevado contenido de proteína respecto a los rastrojos sin esterilizar, muy probablemente fue por hidrólisis que ocurrió en las paredes celulares y que según Madigan *et al.* (2012) y Albertó (2008), los sustratos esterilizados a temperaturas arriba de los 100°C y la humedad, las macromoléculas pierden estructura y función. A excepción del rastrojo criollo C esterilizado y mantenido húmedo a cero días que por alguna razón disminuyó su contenido de proteína cruda y que requeriría de más estudios al respecto para determinar las causas.

## **9.5 Pruebas de aceptabilidad y preferencia en el consumo del rastrojo de maíz por rumiantes**

### **9.5.1 Preferencia de consumo por presentación física del rastrojo de maíz**

Los animales tuvieron una preferencia mayor de consumo por los cultivares criollos que por el cultivar Aspros® en presentación de planta entera. Según Ulyatt (1973), Baker y Dynes (1990), el consumo voluntario de alimento está en función del contenido de fibras, carbohidratos solubles, digestibilidad *in vitro*, contenido de proteínas, minerales, entre

otros y es lo que le da el valor nutritivo a un forraje o alimento determinado. Forbes (2007), cree que las preferencias de consumo de alimento voluntario de los rumiantes, están determinadas por múltiples factores, como mínimo señala el contenido de energía y proteínas en el alimento, necesarias para satisfacer sus necesidades fisiológicas. Como ya se demostró en este estudio, los cultivares criollos tuvieron un menor contenido de fibras y una mayor digestibilidad *in vitro* lo cual puede ser la explicación a este comportamiento animal.

Respecto a la presentación de planta molida, los animales mostraron un rechazo aparentemente porque les provocaba un molesto estornudo. En concentrados alimenticios, se ha observado que la presencia de estornudos, reduce el consumo, como lo señalan Kolling *et al.* (2016) que al adicionar extracto de orégano las novillonas aumentaron de 1 a 2 veces sus probabilidades de estornudos. Ginane *et al.* (2015), describen fases respecto al consumo, que van desde la necesidad de obtener energía, hasta sus percepciones sensoriales de visión, olfato y gusto que incrementan el hambre y por lo consiguiente, la saciedad. Respecto a estas sensaciones de recompensa, Provenza (1995), señala que los animales se motivan por el deseo de probar los alimentos, el gusto que le provoca un placer sensorial y la palatabilidad que está relacionada con las consecuencias después de ingerir los alimentos y todo esto se resume en experiencias para el animal según Flagel *et al.* (2011).

Los animales tuvieron preferencia de consumo por el rastrojo picado sin importar el cultivar. Esto concuerda con los estudios realizados por Jiménez (2010) que infiere que en los ovinos consumiendo rastrojo de maíz, hay evidencias de que tienen una preferencia hacia el consumo de partículas de 2 cm respecto a las de 1, 3 y 4 cm, por lo tanto al animal no le importó el cultivar sino el tamaño de la partícula. Aparentemente el animal no detecta la diferencia ente cultivares y por lo que tiene preferencia no se sabe si es por la facilidad al masticar un tamaño determinado de partícula o por la consistencia que adquiere ese determinado tamaño de picado.

### **9.5.2 Preferencia de consumo de acuerdo al genotipo de maíz y al tratamiento de sabor**

Los animales prefirieron consumir el rastrojo asperjado con licuado de alfalfa, según Sun *et al.* (2017), la tasa de ingesta de rastrojo de maíz mezclado con alfalfa, se eleva un 30%. Rolls *et al.* (1986) informaron que la variación de sólo una de las características sensoriales del alimento, como el sabor, resulta en una mayor ingesta de alimento. Undi *et al.* (2001) determinaron significativamente que la aceptabilidad del rastrojo de maíz se incrementa al agregar leguminosas. De acuerdo a Baile y McLaughlin (1987) y Zereu (2016) se producen ciertas señales sensoriales, metabólicas y fisiológicas que hacen que el rumiante se sienta bien. Por tanto, es posible que al detectar los olores y sabores de la alfalfa se hayan desencadenado efectos de bienestar favoreciendo así la preferencia. Asimismo, es posible que al sentir la presencia de proteína (que tiene la alfalfa) haya pensado el animal que era mejor consumir ese rastrojo a que se tuviera un sabor dulce o salado.

En menor manera ocurrió lo inverso con la preferencia del rastrojo amonificado. Bell (1984), infiere que, los animales responden a cuatro sabores fundamentales que son el salado, dulce, amargo y ácido y de acuerdo a la intensidad de estos sabores, es la preferencia de consumo. Se observó un mayor desagrado que no sabemos si fue provocado, posiblemente, por el olor o por el sabor. Preston y Leng (1980) infieren que el olor afecta el consumo y Bell (1984), que demostró que el ganado detecta por el olor sales de sodio y alimento contaminado con heces. El rastrojo amonificado al mejorar la calidad nutritiva debería ser más consumido según Preston y Leng (1980) y según Rodríguez *et al.* (2002), pero van Os (1997) infiere que los alimentos fermentados que contienen nitrógeno y principalmente aminos, reducen su ingesta debido a la palatabilidad, a la actividad fisiológica en el metabolismo animal, y a la saciedad temprana por quimiotaxis a nivel ruminal. dos Santos *et al.* (2015) observaron los mayores rechazos, y por tanto menor consumo voluntario, en una dieta ofrecida a corderos cuando se alimentaron con un subproducto de la palma *Bactris gasipaes* a la que le adicionaron urea y sulfato de amonio. De acuerdo a Dunière *et al.* (2013), la presencia de aminos biogénicas, derivadas de la decarboxilación de aminoácidos por proteólisis bacteriana produce olores fuertes y sustancias que pueden provocar



trastornos en la salud del rumiante, disminuyen drásticamente el consumo voluntario de los forrajes ensilados o tratados. Esta situación de cierta combinación de olor-sabor puede ser que ocurra en el rastrojo amonificado y por tanto su consumo haya sido reducido.

El consumo del rastrojo asperjado con sales minerales y el colonizado con *Ganoderma lucidum* fueron parecidos. Según Bell (1984), los animales detectan las sales por el olor, aparentemente, por la deficiencia de sal que existe en las plantas y eso los ha obligado a desarrollar un comportamiento basado en el gusto y el olfato. Brüning *et al.* (2017) infieren que los alimentos fermentados con exposición anaeróbica durante varios días, puede provocar una disminución en la preferencia de consumo tal vez por el deterioro del estado microbiano. Por otra parte, Bell y Sly (1979) demostraron que los animales con bajos niveles de sodio tienen un comportamiento inquieto y de manera condicionada buscan el sitio en donde puedan satisfacer la necesidad de sales y el comportamiento inquieto desaparece en el momento en el que se les proporciona este elemento.

Así mismo la presencia de levaduras y mohos en el forraje reduce el consumo voluntario (Dunière *et al.*, 2013), pues se produce mayor cantidad de CO<sub>2</sub> y alcohol por la transformación de los carbohidratos hidrosolubles por dichos microorganismos que a su vez llegan a producir algunas micotoxinas, elementos que son detectables por los rumiantes.

No se puede asegurar que es lo que pasa respecto al olor y el sabor que perciben los animales en el rastrojo colonizado con *G. lucidum*. Campagnoli y Dell' Orto (2013), hicieron pruebas piloto para determinar mediante sistemas electrónicos del olfato, si es el olor lo que afecta el consumo voluntario de alimento pero no llegaron a una conclusión definitiva debido a la complejidad incomparable de los receptores sensoriales y biológicos de los animales. Definitivamente es algo que requiere de más estudios para poder determinar la preferencia que puedan llegar a tener y los efectos a largo plazo que pueda provocar su consumo recurrente.

## X. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis planteada fue que la preferencia de los ovinos en el consumo de rastrojo de maíz, está en función de la variedad y del tratamiento aplicado al rastrojo. Dado que para el rastrojo en planta entera sí hubo preferencia por cierto tipo de variedad, no se rechaza la hipótesis. No obstante, cuando se le hizo un procesamiento físico en relación al tamaño de partícula del rastrojo a consumir, se perdió tal preferencia, por lo que en esta parte la hipótesis se rechaza.

En cuanto a la preferencia del rastrojo saborizado o con el tratamiento de amonificación o inoculado con el hongo, el consumo sí depende del tratamiento que se haya dado, por lo que esta parte de la hipótesis no se rechaza.

## XI. CONCLUSIONES

Existe una diferencia en ciclo biológico entre los cultivares de maíz probados. Así como diferencias en su calidad nutricional de los genotipos de maíz probados.

La inoculación con el hongo *Ganoderma lucidum* no mejoró la digestibilidad *in vitro*, pues afectó negativamente al incrementar ( $p < 0.05$ ) las concentraciones de fibras; el rastrojo inoculado tuvo valores menores de digestibilidad que los rastrojos sin tratar y esterilizados, alcanzando valores de 62.0, 57.1 y 57.0 para el criollo A, B Aspros® y criollo C, respectivamente. El único parámetro que se mejoró fue la concentración de proteína cruda; los rastrojos colonizados con *Ganoderma lucidum* mostraron mayor ( $p < 0.05$ ) concentración de PC que sus respectivos rastrojos sin inocular y esterilizados alcanzando valores de 7.2, 4.2 y 3.8 % para el criollo A, B Aspros® y criollo C, respectivamente. La presentación física de la planta afecta el consumo de materia seca. En estado entero, el rastrojo del híbrido comercial fue el menos preferido ( $p < 0.05$ ) sin importar el genotipo. El tamaño de partícula también afecta el consumo, el rastrojo picado tuvo mayor preferencia, 334.10 g comparado con 255.71 g de planta entera y 231.25 g de planta molida. El animal no detecta diferencias por genotipo en las presentaciones de rastrojo molido y picado. Pero, sabor influye en el consumo de materia seca. El asperjado con licuado de alfalfa favoreció mayormente el consumo ( $p < 0.05$ ) con 336.50 g. El rastrojo de maíz amonificado tuvo la menor preferencia ( $p < 0.05$ ) sin importar el genotipo con 154.91 g.

## XII. LITERATURA CITADA

- Akbar M., Lebzien P. & Flachowsky G. (2002). Measurement of yield and *in situ* dry matter degradability of maize varieties harvested at two stages of maturity in sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 100, 53-70.
- Albertó E. (2008). Cultivo intensivo de los hongos comestibles: cómo cultivar champiñones, gírgolas, shiitake y otras especies. 1ª Edición. Buenos Aires. Hemisferio Sur. 265.
- Allen M. & Bradford J. (2012). Control of food intake by metabolism of fuels: a comparison across species. *The Proceedings of the Nutrition Society*. 71, 401-409.
- Allen M., (2014). Drives and limits to feed intake in ruminants. *Animal Production Science*. 54 (10), 1513-524.
- Allison C. (1985). Factors affecting forage intake by range ruminants. *Journal of Range Management*. 38 (4), 305-311.
- ANKOM Technology. (2017). 'Operator´s Manual ANKOM<sup>200/220</sup> Fiber analyzer.' ANKOM Technology: Macedon, New York, USA. 11-27.
- Arellano I., Pinto, R., Guevara F., Reyes L., Hernández D. & Ley de Coss A. (2016). Caracterización del uso directo del rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) por bovinos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7 (5), 1117-1129.
- Arora D., & Sharma R. (2009). Enhancement in *in vitro* digestibility of wheat straw obtained from different geographical regions during solid state fermentation by white rot fungi. *Bioresources*. 4, 909-920.
- Aspros semillas. El maíz, la decisión inteligente. Ficha técnica Aspros 1503.
- Association of Official Analytical Chemists. A.O.A.C. (1990). 15<sup>th</sup> Edition. Arlington, Virginia, USA. 1, 69-89
- Atuhaire A., Kabi F., Okello S. & Mugerwa S. (2016). Optimizing bio-physical conditions and pre-treatment options for breaking lignin barrier of maize stover feed using white rot fungi. *KeAi Animal Nutrition*. 2, 361-369.
- Aumont G., Caudron I., Saminadin G. & Xand A. (1995). Sources of variation in nutritive values of tropical forages from the Caribbean. *Animal Feed Science and Technology*. 5 (1), 1-13.

- Ayala A., Schwentesius R., de la O M., Preciado P., Almaguer G., & Rivas P. (2013). Análisis de rentabilidad de la producción de maíz en la región de Tulancingo, Hidalgo, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 10(4), 381-395.
- Baile A., & Mc Laughlin L. (1987). Mechanisms controlling feed intake in ruminants: a review. *Journal of Animals Science*. 63, 915-922.
- Baker S. & Dynes R. (1999). Evaluation of the feeding value of pasture legumes. In *Genetic resources of Mediterranean pasture and forage legumes*. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, Netherlands. 120-131.
- Basurto R., Escamilla A., Moya S., Ramírez E. & Becerra J. (2012). Composición química, digestibilidad y cinética ruminal de la digestión de residuos agrícolas tratados con explosión de vapor. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 3(4), 407-425.
- Bell F. & Sly J. (1979). The metabolic effects of sodium depletion in calves on salt appetite assessed by operant methods. *The Journal of physiology*. 295, 431-443
- Bell F. (1984). Aspects of ingestive behavior in cattle. *Journal of Animal Science*. 64, 9-15.
- Berridge K. (1996). Food reward: Brain substrates of wanting and liking. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 20 (1), 1-25.
- Berridge K. (2009). 'Liking' and 'wanting' food rewards: brain substrates and roles in eating disorders. *Physiology & behavior*. 97(5), 537–550.
- Berthoud R. (2007). Interactions between the "cognitive" and "metabolic" brain in the control of food intake. *Physiology Behavior*. 91(5), 486-98.
- Berthoud R. (2011) Metabolic and hedonic drives in the neural control of appetite: who is the boss?. *Current Opinion in Neurobiology*. 21(6), 888-896.
- Beuchelt T., Camacho C., Göhring I., Hernández V., Hellin J., Sonder K. & Erenstein O. (2015). Social and income trade-offs of conservation agriculture practices on crop residue use in Mexico's central highlands. *Agricultural Systems*. 134, 61-75.
- Borja M., Reyes L., Espinosa J. A., Vélez A., Reyes L., Camacho, T. C. & Guevara F. (2013). Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 7, 1-242.

- Bórquez L., González S., Pinos M., Domínguez I., Bárcena R., Mendoza D., Cobos A. & Bueno G. (2009). Feeding value of ensiling fresh cattle manure with molasses or bakery by-products in lambs. *Livestock Science*. 122, 276-280.
- Bowman J., Sowell B. & Paterson J. (1995). Liquid supplementation for ruminants fed low quality forage diets: a review. *Animal Feed Science and Technology*. 55, 105-138.
- Brüning D., Gerlach K., Weiß | K. & Südekum K. (2017). Effect of compaction, delayed sealing and aerobic exposure on forage choice and short-term intake of maize silage by goats. *Grass and Forage Science*. 73 (2), 392-405.
- Campagnoli A. & Dell'Orto V. (2013). Potential application of electronic olfaction systems in feedstuffs analysis and animal nutrition. *Sensors*. 13, 14611-14632
- Casperson A., Wertz-Lutz E., Dunn L. & Donkin S. (2018). Inclusion of calcium hydroxide-treated corn stover as a partial forage replacement in diets for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 101 (3), 2027-2036.
- Castellanos S., Gamarra J., Gómez C. & Fernández M. (2017). Amonificación de la panca de maíz (*Zea mays L*) con tres niveles de urea para la mejora de su digestibilidad. *Revista de Investigaciones Veterinarias de Perú*. 28(1), 78-85.
- Chen Q., Marshall M., Geib S., Tien M. & Richard T. (2012). Effects of laccase on lignin depolymerization and enzymatic hydrolysis of ensiled corn stover. *Bioresource Technology*. 117, 186-192.
- Clarke, T., Flin, P., & McGowan. A. (1982). Low cost pepsin-cellulase assays for prediction of digestibility of herbage. *Grass and Forage Science*. 37. 147-150.
- Clauss M., Steuer P., Erlinghagen-Lückerath K., Kaandorp J., Fritz J., Südekum K. & Hummelb J. (2015). Faecal particle size: Digestive physiology meets herbivore diversity *Comparative Biochemistry and Physiology Part A. Molecular & Integrative Physiology*. 179, 182-191.
- Coleman W. & Moore E. (2003). Feed quality and animal performance. *Field Crops Research*. 84 (1–2), 17-29, 677-7.
- dos Santos I., Gomes J., de Almeida F., Ribeiro L., Leal G., Santos A., Lins L., Andrade G. & Alves C. (2015). Silage or fresh by-product of peach palm as roughage in the feeding of lambs. *Tropical Animal Health and Production*. 47, 525-531.

- Dukas R. (2013). Effects of learning on evolution: robustness, innovation and speciation. *Animal Behaviour*. 85, 1023-1030.
- Dunière L, Sindoub J., Chaucheyras-Durand F., Chevallier I. & Thévenot-Sergenteta E. (2013). Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*. 182, 1-15.
- Elizondo J., & Boschini C. (2002). Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía Mesoamericana*. 13 (1), 13-17.
- Evsenko M., Shashkov A., Avtonomova A., Krasnopolskaya L. & Usov A. (2009). Polysaccharides of basidiomycetes. Alkali-Soluble polysaccharides from the mycelium of white rot fungus *Ganoderma lucidum* (Curt: Fr.) P. Karst. *Biochemistry*. 74 (5), 533-542.
- Federer W. (1979). *Experimental design: theory and application*. 6th Edition. New York. Macmillan. Oxford & IBH. 544.
- Feng W., Hui X., Wei C., En W., Feng D. & An S. (2013). Biological pretreatment of corn stover with ligninolytic enzyme for high efficient enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology*. 144, 572-578.
- Fetissov O. (2017). Role of the gut microbiota in host appetite control: bacterial growth to animal feeding behaviour. *Nature Reviews Endocrinology*. 13(1), 11-25.
- Flagel B., Clark J., Robinson E., Mayo L., Czuj A, Willuhn I., Akers A., Clinton M., Phillips M. & Akil H. (2011). A selective role for dopamine in stimulus-reward learning. *Nature*. 469, 53-57.
- Fondevila M., Castrillo C., Guada A. & Balcells J. (1994). Effect of ammonia treatment and carbohydrate supplementation of barley straw on rumen liquid characteristics and substrate degradation by sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 50, 137-155.
- Forbes J. (2007). A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. *Nutrition Research Reviews*. 20, 132-146.
- Friedman I. (1997). An energy sensor for control of energy intake. *The Proceedings of the Nutrition Society*. 56, 41-50.

- Fuentes C., Suárez L., Peña R., Rodríguez S. & Ortiz B. (2001). Análisis químico y digestibilidad *in vitro* de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Mesoamericana*. 12 (2), 189-192.
- Galaviz R., Zaragoza J.L. & Corona V. (2011). Alimentación para ovinos de la región norponiente de Tlaxcala. *Folleto Técnico*. 46, 20.
- Galina A., Hummelc D., Sánchez M. & Haenlein W. (2004). Fattening Rambouillet lambs with corn stubble or alfalfa, slow intake urea supplementation or balanced concentrate. *Small Ruminant Research*. 53, 89-98.
- Ginane C., Bonnet M., Baumont R. & Revell K. (2015). Feeding behaviour in ruminants: A consequence of interactions between a reward system and the regulation of metabolic homeostasis. *Animal Production Science*. 55 (3), 247-260.
- Gómez R. & Esquivel M. (2002). Agroclimatología del maíz de México. *Revista Geográfica*. 132, 123-140.
- González F., Herrera J., Hernández O., López T, & Cid G. (2012). Base de datos sobre necesidades hídricas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 21(2), 42-47.
- González S. (2007). Aprovechamiento de esquilmos y subproductos en la alimentación del ganado. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Ficha 1, 1-8.
- Hakl J., Loučka R., Jirmanová J. & Jambor V. (2017) Influence of genotype, site, and year on maize nutritive value yield relationships. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 48 (2), 47-53.
- Hayashida T., Murakami K., Mogi K. & Nishihara M. (2001). Ghrelin in domestic animals: distribution in stomach and its possible role. *Domestic Animal Endocrinology*. 21(1), 17-24.
- He Y., Dijkstra J., Sonnenberg A., Mouthier T., Kabel M., Hendriks W. & Cone J. (2019). The nutritional value of the lower maize stem cannot be improved by ensiling nor by a fungal treatment. *Animal Feed Science and Technology*. 247, 92-102.
- Hellin J., Erenstein O., Beuchelt T., Camacho C. & Flores D. (2013). Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico. *Field Crops Research*. 153, 12-21.

- Hu Y., Ahmed S., Li J., Luo B., Gao Z., Zhang Q., Li X., & Hu X. (2017). Improved ganoderic acids production in *Ganoderma lucidum* by wood decaying components. *Scientific Reports*. 7, 1-10.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (2010). Centro de Investigación Regional del Pacífico. Centro Campo Experimental El Verdineño. Consumo voluntario de forraje por vacas lecheras en pastoreo. Folleto científico 1, 2-47.
- Jackson G. (1978). Treating straw for animal feeding. *Animal Production and Health*. FAO Rome. 10.
- Jiménez R., San Martín F., Huamán H., Ara M., Teresa A. & Huamán A. (2010). Efectos del tamaño de partícula y tipo de amonificación-conservación sobre la digestibilidad y consumo del rastrojo de maíz en ovinos. *Revista de Investigaciones Veterinarias de Perú*. 21 (1), 19-25.
- Johnson O., Harvey W., Goode L., Linnerud C. & Crickenberger G. (1984). Effect of stage of maturity and addition of molasses on nutritive value of maize stover silage. *Animal Feed Science and Technology*. 12(1), 65-74.
- Jones D. & Hayward M. (1975). The effect of pepsin pretreatment of herbage on the prediction of dry matter digestibility from solubility in fungal cellulase solution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 26, 711-718.
- Klee, G. & Murillo, I. (1989). Efecto de diferentes concentraciones de amoníaco anhidro en el tratamiento de paja de trigo y de la suplementación proteica y energética en raciones de novillos holandeses. *Agricultura Técnica*. 49, 1-8.
- Kolling G., Panazzolo D., Gabbi A., Stumpf M., Passos M., Cruz E., & Fischer V. (2016). Oregano Extract Added into the Diet of Dairy Heifers Changes Feeding Behavior and Concentrate Intake. *The Scientific World Journal*. 2016, 1-6.
- Krehbiel R. (2014). Applied nutrition of ruminants: Fermentation and digestive physiology. *The Professional Animal Scientist*. 30 (2), 129-139.
- Laeger T., Albarado D., Burke S., Troclair L., Hedgepeth J., Berthoud H., Gettys T., Collier J., Münzberg H., & Morrison C. (2016). Metabolic responses to dietary protein restriction require an increase in FGF21 that is delayed by the absence of GCN2. *Cell Reports*. 16 (3), 707-716.



- López H., Chongo B., O León O., La Guerra J., Luna M., Castro S. & López L. (2017). Digestibilidad *in situ* de rastrojo de maíz tratado con enzimas fibrolíticas. Revista Ciencia y Agricultura. 14 (1), 31-37.
- Ma Y., He H., Wu J., Wang C., Chao K. & Huang Q. (2017). Assessment of polysaccharides from mycelia of genus *Ganoderma* by Mid-Infrared and Near-Infrared Spectroscopy. Scientific Reports. 8 (10), 1-10.
- Macedo R., Galina M., Zorrilla J., Palma J. & Pérez J. (2003) Análisis de un sistema de producción tradicional en Colima, México. Archivos de Zootecnia. 52 (200) 463-474.
- Madigan M. Martinko J. Stahl D. & Clark D. (2012). Brock biology of microorganisms. 13<sup>a</sup> Edición. California. Prentice Hall International. 1041.
- Manyuchi B., Mikayiri S. & Smith T. (1994). Effect of treating or supplementing maize stover with urea on its utilization as feed for sheep and cattle. Animal Feed Science and Technology. 49, 11-23.
- Menardo S., Airoidi G., Cacciatore V. & Balsari P. (2015). Potential biogas and methane yield of maize stover fractions and evaluation of some possible stover harvest chains. Biosystems engineering. 129, 352-359.
- Mesa N., Ospina S., Escobar D., Rojas D., Zapata P. & Ossa C. (2015). Isolation of chitosan from *Ganoderma lucidum* mushroom for biomedical applications. Journal of Materials Science: Materials in Medicine. 26 (135), 1-9.
- Methu J., Owen E., Abate A. & Tanner J. (2001). Botanical and nutritional composition of maize stover, intakes and feed selection by dairy cattle. Livestock Production Science. 71, 87-96.
- Miller K., Montoro C., Ipharraguerre R. & Bach R. (2014). Dietary preference in dairy calves for feed ingredients high in energy and protein. Journal of Dairy Science. 97, 1634-1644
- Minson D. (1990). Forage in ruminant nutrition. Academic Press. San Diego. 483.
- Montañez D., Ortega M., Cobos A., Larqué A. & García E. (2004) Effect of the feeding of wheat straw treated with *Pleurotus florida* on sheep ruminal flora. Cuban Journal of Agricultural Science. 38 (3), 241-250.

- Munn A., Jürgen W., Hummel J. & Clauss M. (2008). Modelling digestive constraints in non-ruminant and ruminant foregut-fermenting mammals. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology.* 151 (1), 78-84.
- Muñoz F. (2011). Producción, valor nutricional y aprovechamiento del rastrojo de maíces nativos en la región de Libres-Serdán, Puebla, México. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados *Campus* Puebla. 62 p.
- Muñoz F., Guerrero J. de D., López A., Gil A., López H., Ortiz E., Hernández A., Taboada O., Vargas S. & Valadez M. (2013). Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.* 4(4), 515-530.
- Nedelkov K., Harper M., Melgar A., Chen X., Räisänen S., Martins C., Faucheron J., Wall E., & Hristov A. (2019). Acceptance of flavored concentrate premixes by young ruminants following a short-term exposure. *Journal of Dairy Science.* 102 (1), 388-394.
- Oliveros B., Britton R. & Klopfenstein T. (1993). Ammonia and/or calcium hydroxide treatment of maize stover: intake, digestibility and digestión kinetics. *Animal Feed Science and Technology.* 44, 59-72
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2017). Fisheries Topics: Statistics. Estadísticas e información. Topics Fact Sheets. In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO.
- Owen E. (1976). Farm wastes: straw, and another fibrous materials. Food production and consumption: the efficiency of human food chain and nutrient cycles. In: Duckham AN, Jones JGW, Roberts EH. Amsterdam. 299-318.
- Owen E., Kitalyi A., Jayasuriya N. & Smith T. (2005). Livestock and Wealth Creation. Improving the Husbandry of Animals Kept by Resource-poor People in Developing Countries. *Small Ruminant Research.* 65, 181-181.
- Paterson R. (2006). *Ganoderma* A therapeutic fungal biofactory. *Phytochemistry.* 67. 1985-2001.
- Patiño R., González K., Porras F., Salazar L., Villalba C., & Gil, J. (2008). Comportamiento ingestivo diurno y desempeño de novillos en pastoreo

- pertencientes a tres grupos genéticos durante dos épocas climáticas. *Livestock Research for Rural Development*. 20 (3).  
<http://www.lrrd.org/lrrd20/3/pati20036.htm>
- Pénicaud L., Meillon S. & Brondel L. (2012). Leptin and the central control of feeding behavior. *Société de chimie biologique*. 94, 2069-2074.
- Preston T. & Leng R (1989). Utilization of tropical feeds by ruminants. In Ruckebusch and Thivend. *Digestive physiology and metabolism in ruminants*. AVI Publishing Company, Inc. 621-640.
- Provenza D. (1995). Origins of Food Preference in Herbivores. *National Wildlife Research Center Repellents Conference 1995*. 29, 81-90.
- Puga C., Galina, M., Pérez-Gilc, F. & Sanginés, L. (2001). Effect of a controlled-release urea supplement on rumen fermentation in sheep fed a diet of sugar cane tops (*Saccharum officinarum*), corn stubble (*Zea mays*) and King grass (*Pennisetum purpureum*). *Small Ruminant Research*. 39, 269-276.
- Reidelberger D. (1994). Cholecystikinin and control of food intake. *The Journal of Nutrition*. 124 (8), 1327S-1333S.
- Rinehart L. (2008). *Nutrición para Rumiantes en Pastoreo*. Servicio Nacional de Información de Agricultura Sostenible-ATTRA. Folleto científico. 1, 2-19.
- Rodríguez N., Araujo O., González B. & Vergara J. (2002). Efecto de la amonificación con urea sobre los componentes estructurales de la pared celular de heno de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick a diferentes edades de corte. *Producción Animal*. 10, 7-13.
- Rolls B., Hetherington V., Burley V., & Duijvenvoorde P. (1986). Changing hedonic responses to foods during and after a meal. Interaction of the chemical senses with nutrition. *Academic Press*. 247-268.
- Saavedra C., Omaña M., Navas A. & Suárez A. (2013). Evaluación de la amonificación de residuos de cosecha de *Zea mays* como alternativa para la alimentación de rumiantes. *Revista Ciencia Animal*. 6, 99-108
- Saenger P., Lemenager R. & Hendrix K. (1982). Anhydrous ammonia treatment of corn stover and its effects on digestibility, intake and performance of beef cattle. *Journal of Animal Science*. 54 (2).

- Salem B. & Smith T. (2008). Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Ruminant Research*. 77, 174-194.
- Salmones D., Mata G. & Waliszewski K. (2005). Comparative culturing of *Pleurotus* spp. on coffee pulp and wheat straw: biomass production and substrate biodegradation. *Bioresource Technology*. 96, 537-544.
- Sánchez E., Ortega M., Mendoza G., Montañez O. & Buntinx S. (2012). Rastrojo de maíz tratado con urea y metionina protegida en dietas para ovinos en crecimiento. *Interciencia*. 37 (5), 395-399.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2017). Producción de maíz. Servicio de información agroalimentaria [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do)
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) (2010). Informe Anual Sobre La Situación Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2017). Datos abiertos. Estadística de Producción Agrícola. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do)
- Sisson S. & Grossman, J. (1982). Anatomía de los animales domésticos. Sistema Digestivo. 5ª Edición. Salvat Editores. 1022.
- Sokhansanj S., Mani S., Tagore S. & Turhollow A. (2010). Techno-economic analysis of using corn stover to supply heat and power to a corn ethanol plant – Part 1: Cost of feedstock supply logistics. *Biomass and Bioenergy*. 34, 75-81.
- Soto, A., Ramírez, E., Meneses, M., Loera, O., Miranda, L., & Bárcena, R. (2015). Effects of *Pleurotus sapidus* (Schulzer) Sacc. Treatment on nutrient composition and ruminal fermentability of barley straw, barley rootless, and a mixture of the two. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 75 (3), 313-319.
- Statistical Analysis System (SAS) (2002). User's Guide. Statistics, version 9.0. SAS Institute Inc. Cary, North Caroline, USA.
- Stölzer S. & Grabbe K. (1991). Mechanisms of substrate selectivity in the cultivation of edible fungi. *Mushroom Science*. 13,141-145.
- Sugino T., Yamura J., Yamagishi M. & Ogura A. (2002). A transient surge of ghrelin secretion before feeding is modified by different feeding regimens in sheep. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 298 (5), 785-8.

- Sun L., Yin Q., Gentu G., Xue Y., Hou M., Liu L., & Jia Y. (2017). Feeding forage mixtures of alfalfa hay and maize stover optimizes growth performance and carcass characteristics of lambs. *Animal Science Journal*. 89 (2), 359-366.
- Tao L., Zhang L., Tu Y., Zhang F., Si W., Ma T. & Diao Y. (2016). Improving the *in situ* ruminal degradability of maize stalk using fungal inoculants in dorper × thin-tailed han crossbred ewes. *Small Ruminant Research*. 144, 119-125.
- Tuyen V., Phuong H., Cone J., Baars J., Sonnenberg A. & Hendriks W. (2013). Effect of fungal treatments of fibrous agricultural by-products on chemical composition and *in vitro* rumen fermentation and methane production. *Bioresource Technology Journal*. 129, 256-263.
- Ulyatt M. (1973). The feeding value of herbage. In *Chemistry and biochemistry of herbage*. Academic Press. 131-178.
- Undi M., Kawonga K.C. & Musendo, M. (2001). Nutritive value of maize stover/pasture legume mixtures as dry season supplementation for sheep. *Small Ruminant Research*. 40 (3), 261-267.
- United States Department of agriculture. (USDA) (2013). [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1097378](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1097378). Beltsville, MD.
- van Kuijk S., Sonnenberg A., Baars J., Hendriks W. & Cone J. (2015). Fungal treated lignocellulosic biomass as ruminant feed ingredient. *Biotechnology Advances*. 33, 191-202.
- van Os M. (1997). Role of ammonia and biogenic amines in intake of grass silage by ruminants. Tesis de doctorado. Universidad Agrícola de Wageningen. ProQuest. 194 p.
- Volkow D., Wang J. & Baler D. (2011). Reward, dopamine and the control of food intake: implications for obesity. *Trends in Cognitive Sciences*. 15, 37-46.
- Wertz-Lutz A., Knight T., Pritchard R., Daniel J., Clapper J., Smart A., Trenkle A. & Beitz D.C. (2006). Circulating ghrelin concentrations fluctuate relative to nutritional status and influence feeding behavior in cattle. *Journal of Animal Science*. 84(12), 3285-3300.
- Weston H. (1996). Some aspects of constraint to forage consumption by ruminants. *Australian Journal of Agricultural Research*. 47, 175-198.

- Yescas R., Bárcena R., Mendoza D., González S., Cobos M. & Ortega E. (2004). Digestibilidad *in situ* de dietas con rastrojo de maíz o paja de avena con enzimas fibrolíticas. Programa en Ganadería. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. *Agrociencia*. 38 (1), 23-31.
- You, Y. & Lin, Z. (2002). Protective effects of *Ganoderma lucidum* polysaccharides peptide on injury of macrophages induced by reactive oxygen species. *Acta Pharmacologica Sinica*. 23(9), 787–791.
- Zereu G. & Lijalem T. (2016). Status of improved forage production, utilization and constraints for adoption in Wolaita Zone, Southern Ethiopia. *Livestock Research for Rural Development*. 28 (5).
- Zhou H., Liu G., Huang F., Wu X. & Yang H. (2014). Improved production, purification and bioactivity of a polysaccharide from submerged cultured *Ganoderma lucidum*. *Archives of Pharmacal Research*. 37, 1530-1537.
- Zhou S., Zhang J., Ma F., Tang C., Tang Q. & Zhang X. (2018). Investigation of lignocellulolytic enzymes during different growth phases of *Ganoderma* strain G0119 using genomic, transcriptomic and secretomic analyses. *Plos One*. 13 (5), 1-20.
- Zych D. (2008). The viability of corn cobs as a bioenergy feedstock. A report of the West Central Research and Outreach Center, University of Minnesota.1, 1-25.