



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

**EFFECTO DE LA AMONIFICACIÓN DEL RAQUIS DE PLÁTANO SOBRE SU
VALOR NUTRICIONAL**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

PRESENTA

JESÚS EMMANUEL CARREÓN CORTES

DIRECTOR DE TESIS

DR. NUMA POMPILIO CASTRO GONZÁLEZ

Tlatlauquitepec, Puebla, México. Diciembre de 2024



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

**EFFECTO DE LA AMONIFICACIÓN DEL RAQUIS DE PLÁTANO SOBRE
SU VALOR NUTRICIONAL**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

PRESENTA

JESÚS EMMANUEL CARREÓN CORTES

DIRECTOR DE TESIS

DR. NUMA POMPILIO CASTRO GONZÁLEZ

ASESORES

M.C. RAMIRO ESCOBAR HERNÁNDEZ

DR. MARCOS PÉREZ SATO

DR. EDGAR VALENCIA FRANCO

Tlatlauquitepec, Puebla, México. Diciembre de 2024.

La presente tesis titulada: EFECTO DE LA AMONIFICACIÓN DEL RAQUIS DE PLÁTANO SOBRE SU VALOR NUTRICIONAL y realizada por JESÚS EMMANUEL CARREÓN CORTES, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo Particular integrado por:

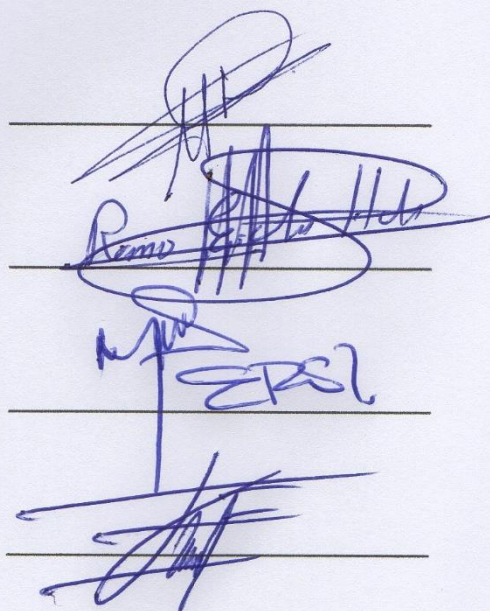
Firma

Director: Dr. Numa Pompilio Castro González

Asesor: M.C. Ramiro Escobar Hernández

Asesor: Dr. Marco Pérez Sato

Asesor: Dr. Edgar Valencia Franco



Tlatlauquitepec, Puebla, México. Diciembre de 2024.

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: **Manejo, Producción y Bienestar Animal** y de la Línea de Investigación: **Producción y Bienestar Animal de Rumiantes y No Rumiantes**. Dicho trabajo, fue financiado con recursos propios.

DEDICATORIA

Dedico mi tesis principalmente a Dios y la vida, por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta. A mis padres, **Minerva y Jacinto**, por acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y profesionista. También se la dedico **a mi abuela Idelfonsa, y abuelos (Teresa, Isaac y Felimiano)** que desde el cielo me dan fuerzas para continuar. Al igual que a mis tías y tíos que siempre me han apoyado a lo largo de mi vida.

A mis hermanas **Daira y Jazmín**, por todo su apoyo incondicional, espero les sirva de ejemplo de que todo se puede lograr.

A mi compañero de tesis (**María, Alonso, Erik, Juliana, Mario, Héctor, Wilberth, Antonio y Concepción**), generación (**Carolina, Gabriela, Betzabé, Andrea, Mariana, Elsa, Aracely, Noe, David, Josué, Oscar, Francisco, Omar, Félix, Álvaro y Joshua**) y Facultad que en verdad son bastantes y a todos les tengo un aprecio y cariño particular.

Quiere reconocer al **Dr. Raúl Berdeja Arbeu** por su tutela hacia mi persona y compañeros de la generación 2017, gracias a ello fue posible lo que en algún momento se veía distante.

De igual forma agradezco a la **Dra. Delia Moreno Velázquez** por guiarme a mí y a cada uno de mis compañeros durante la materia de Seminario de Titulación, su acompañamiento hizo posible el presente trabajo.

Agradezco a la **Ing. Mónica González Carmona** por su apoyo y enseñanzas que me transmitió para poder trabajar en el laboratorio de bromatología de la institución.

También agradecer al personal administrativo de la Facultad: **Gisela, Martha, Zuly, Cinthya, Gina, Roberto, Antolín, Luis, Berenice, Irma e Itzel** por su amistad.

En mi trayecto por la universidad recuerdo y agradezco emotivamente a los docentes que han sido parte de mi camino, por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder llegar hasta aquí.

Aprovecho para hacer mención de **Doña Laura y el Mtro. Pedro** por abrirme las puertas de su hogar, así como la amistad y confianza que me brido para con su familia, les reitero mis más profundos agradecimientos.

De igual forma dedico mi trabajo a cada una de las personas con las que he tenido poca interacción pero que en algún momento de mi vida me han dado grandes lecciones, permitiéndome reflexionar sobre mi trayectoria profesional y personal.

Puedo concluir que el realizar el presente trabajo de titulación nunca ha sido mi objetivo final, pero si es parte inicial de mi carrera profesional para poder llegar a ella.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla** y en particular al programa educativo de **Ingeniería Agronómica y Zootecnia** perteneciente a la **Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias** por permitirme obtener mi tan ansiado título profesional. Agradezco a cada directivo por su trabajo y gestión.

Le agradezco muy profundamente a mi tutor el **Dr. Numa P. Castro González** por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas, no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

De la misma forma agradezco al **M.C. Ramiro Escobar Hernández** por proporcionarme su apoyo y confianza para realizar esta investigación, así como de su buen humor al momento de trabajar con él.

A los **Dres. Marcos Pérez Sato y Edgar Valencia Franco** por revisar y asesorarme en mi investigación para obtener un buen trabajo de titulación. Para todos ellos mis más sinceros agradecimientos.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Producción nacional de plátano	5
4.2 Residuos de la industria platanera	5
4.3 Valor nutricional del raquis de plátano.....	6
4.4 Análisis químico proximal (AQP).....	6
4.4.1 Materia seca (MS)	6
4.4.2 Cenizas (CE).....	6
4.4.3 Proteína cruda (PC)	6
4.4.4 Extracto etéreo (EE)	6
4.4.5 Fibra cruda (FC)	7
4.4.6 Fibra detergente neutra (FDN)	7
4.4.7 Fibra detergente ácida (FDA)	7
4.4.8 Extracto libre de nitrógeno (ELN).....	7
4.5 Importancia de la fibra en rumiantes	7
4.5.1 Pared celular vegetal.....	7

4.6 Fibras convencionales.....	8
4.7 Forrajes, subproductos y residuos agroindustriales	9
4.8 Criterios para el amonificado	9
4.9 Urea	10
4.10 Amonificación	10
4.11 Condiciones favorables para la amonificación.....	11
4.11.1 Duración del amonificado	11
4.11.2 Humedad.....	11
4.11.3 Temperatura.....	11
V. MATERIALES Y MÉTODOS	12
5.1 Localización.....	12
5.2 Recolección y manejo del raquis de plátano (<i>Musa AAB Simmonds</i>)	13
5.3 Tratamientos experimentales	14
5.4 Diseño estadístico	14
5.5 Variables evaluadas	14
5.5.1 Materia seca (MS)	15
5.5.2 Cenizas (CE).....	15
5.5.3 Proteína cruda (PC)	15
5.5.4 Extracto etéreo (EE)	16
5.5.5 Fibra bruta (FB).....	17
5.5.6 Fibra detergente neutra (FDN)	17
5.5.7 Fibra detergente acida (FDA).....	18
5.5.8 Extracto libre de nitrógeno (ELN).....	18
5.6 Análisis estadístico	18
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19

5.1 Materia seca (MS)	19
5.2 Cenizas (CE).....	19
5.3 Proteína cruda (PC)	20
5.4 Extracto etéreo (EE)	21
5.5 Fibra cruda (FC)	22
5.7 Fibra detergente neutra (FDN)	23
5.8 Fibra detergente acida (FDA)	24
5.6 Extracto libre de nitrógeno (ELN).....	25
VI. CONCLUSIÓN	27
VII. LITERATURA CITADA	28
VIII. ANEXOS	32

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Contenido de sustancias poliméricas en los residuos agroindustriales....	9
Cuadro 2. Parámetros para amonificación de material fibroso en 100 % de materia seca.....	9
Cuadro 3: Tratamientos para amonificado de raquis de plátano.....	14

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Localización y disposición de los principales componentes poliméricos en las paredes celulares de plantas (Murphy y McCarthy, 2005).....	8
Figura 2. Localización geográfica de Tlatlauquitepec, Puebla, México; Fuente: (INEGI, 2010).....	12
Figura 3. Efecto de la amonificación en raquis de plátano sobre el porcentaje de cenizas	19
Figura 4. Resultado de la amonificación con urea sobre el porcentaje de proteína.	20
Figura 5. Porcentaje de extracto etéreo en los tratamientos.....	21
Figura 6. Porcentaje de fibra cruda en amonificado de raquis.....	22
Figura 7. Contenido de FDN ante la amonificación de raquis de plátano.....	23
Figura 8. Comportamiento del amonificado de raquis sobre el porcentaje de FDA.	24
Figura 9. Porcentaje del ELN al amonificar con urea.....	25

RESUMEN

Una problemática para la alimentación del ganado en zonas tropicales es la baja producción de forrajes durante las épocas de secas, actualmente se recurre a otros productos para su compensación. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del amonificado en raquis de plátano dominico (*Musa AAB Simmonds*) sometido a cuatro niveles de urea (0, 3, 6 y 9 %), con el 0 y 30 % de humedad (H) sobre su valor nutricional, por medio de un AQP. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones en esquema factorial de 4x2. Obteniendo ($P \leq 0.05$) en CE para tratamientos con 0 % H. El contenido de PC presenta ($P \leq 0.05$) entre los diferentes contenidos de urea y humedad, revelando mejores valores con 0 % H. Sin embargo, al usar 9 % de urea los T6 y T7 no presentan ($P \geq 0.05$), pero si fueron significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) al resto de tratamientos con valores de 27 % y 28.1 % de PC respectivamente. Los resultados de EE no presentan ($P \geq 0.05$) entre tratamientos (3, 6 y 9 % de urea), pero afecta negativamente al contenido de grasa. En las variables FC y FDA no hay diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre las variaciones de urea y humedad. Pero en FDN el T5 y T7 con 0 % H, son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) al valor del testigo (56 %) con 42.6 % y 41.2 % respectivamente. En ELN demuestra diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, donde T2 (61.2 %) fue mayor y T6 (43.7 %) mostró menor valor, revelando efecto negativo de incorporar 9 % de urea. El amonificado en raquis de plátano al 6 y 9 % de urea aumenta el valor nutricional, aportando fibra y proteína. Sin embargo, al tratarse de una nueva alternativa de alimentación, se desconoce su consumo e inclusión en dietas.

Palabras clave: *Musa AAB Simmonds*, raquis, amonificación, urea, fibra, proteína, polímeros.

ABSTRACT

A problem for feeding livestock in tropical areas is the low production of forage during dry seasons; currently other products are used to compensate. The objective of this work was to determine the effect of ammonification on Dominican banana (*Musa AAB Simmonds*) rachis subjected to four levels of urea (0, 3, 6 and 9%), with 0 and 30% humidity (H) on its nutritional value, through an AQP. A completely randomized design was used with three repetitions in a 4x2 factorial scheme. Obtaining ($P \leq 0.05$) in EC for treatments with 0% H. The PC content presents ($P \leq 0.05$) between the different urea and humidity contents, revealing better values with 0% H. However, when using 9% urea T6 and T7 do not present ($P \geq 0.05$), but they were significantly different ($P \leq 0.05$) to the rest of the treatments with values of 27% and 28.1% of PC respectively. The EE results do not present ($P \geq 0.05$) between treatments (3, 6 and 9% urea), but it negatively affects the fat content. In the FC and ADF variables there is no significant difference ($P \geq 0.05$) between the variations of urea and humidity. But in FDN, T5 and T7 with 0% H are significantly different ($P \leq 0.05$) to the control value (56%) with 42.6% and 41.2% respectively. In ELN it shows a significant difference ($P \leq 0.05$) between treatments, where T2 (61.2%) was higher and T6 (43.7%) showed a lower value, revealing a negative effect of incorporating 9% urea. The ammoniated banana rachis with 6 and 9% urea increases the nutritional value, providing fiber and protein. However, as it is a new food alternative, its consumption and inclusion in diets is unknown.

Keywords: *Musa AAB Simmonds*, rachis, ammonification, urea, fiber, protein, polymers.

I. INTRODUCCIÓN

Una problemática para la alimentación del ganado en zonas tropicales es la baja producción de forrajes durante las épocas de secas, por ello la mayoría de productores del sector cárnico recurre a la suplementación para complementar al sistema de pastoreo (Pinto *et al.*, 2017).

Los rumiantes permiten el uso de recursos que no son aprovechables por el hombre, ya que pueden digerir componentes fibrosos y aprovechar nitrógeno no proteico, debido a la asociación simbiótica con microorganismos en el rumen, lo cual no se presenta en no rumiantes (Nouel *et al.*, 2013).

Los residuos agroindustriales han permitido la alimentación del ganado durante los periodos críticos en el país, ante esta situación el raquis de plátano podría ser utilizado para dicho fin, sin embargo, aún no se ha estudiado lo suficiente en México y se desconoce la forma de procesarlo para tener un mayor valor nutricional y considerarlo como fuente de alimentación en pequeños rumiantes.

Durante el proceso productivo del plátano se generan grandes cantidades de desechos orgánicos, como la fruta de rechazo, tallos, hojarasca y principalmente los raquis. Lo que representa cerca del 95 % de residuos vegetales ya que, por lo general, solo se utiliza el fruto para la comercialización y consumo, y el resto se destina como abono para el cultivo por medio de la descomposición a campo abierto, contrario a lo que se piensa, no ayudan a la nutrición del suelo y generan la proliferación de plagas que pueden afectar otros cultivos (Noa *et al.*, 2018; Ibarra *et al.*, 2022).

Actualmente se ha buscado el aprovechamiento del raquis de plátano para la fabricación de harinas, papel, violes, fermentos y forrajes para ganado, este último punto ha tenido como objetivo investigar las diferentes técnicas de procesar este subproducto para su conservación y alimentación en el ganado. Caicedo *et al.* (2020) realizaron pruebas del ensilado de raquis de plátano (*Musa paradisiaca*) y banano orito (*Musa acuminata* AA) y determinaron que mediante la técnica del ensilado es posible su uso en la alimentación animal.

Otra estrategia para hacer uso del raquis de platano podría ser el amonificado que permite conservar, mejorar de forma sencilla y rápida la calidad de los forrajes lignificados mediante la ruptura de los enlaces de lignina con la aplicación de urea (Cardona, 2013).

Por todo lo anteriormente expuesto el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del amonificado del raquis de platano sobre su valor nutricional.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto del amonificado de raquis de plátano dominico (*Musa AAB Simmonds*) sobre su valor nutritivo.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del amonificado con Urea al 0, 3, 6 y 9 %; en raquis con el 0 %, de humedad.
- Determinar el efecto del amonificado con Urea al 0, 3, 6 y 9 %; en raquis con el 30%, de humedad.
- Conocer la variación de los parámetros de calidad; Cenizas (%), Proteína cruda (%), Extracto etéreo (%), Fibra bruta (%), Fibra detergen neutro (%), Fibra detergen acida (%), Extracto libre de nitrógeno (%).

III. HIPÓTESIS

La amonificación al 9% de urea afectará positivamente, mejorando el contenido nutricional y digestibilidad del raquis de plátano.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Producción nacional de plátano

México ocupa el 18° lugar a nivel mundial como productor de plátano, con aproximadamente 2.6 millones de toneladas anuales. En el territorio nacional es cultivado en 16 estados, donde Chiapas, Tabasco, Colima y Veracruz se han colocado como los principales productores. Las variedades cultivadas en México son: enano gigante, macho, enano gigante orgánico, dominico, roatán, valery, tabasco, manzano, pera y morado (SENASICA, 2024).

En Veracruz se cosechan 318 mil toneladas de plátano en sobre una superficie de 15 mil hectáreas, 3 mil 500 corresponden a la variedad de enanos gigantes, mil a la de dominico y el resto a plátano macho, los municipios del estado considerados como los de mayor producción son San Rafael, Misantla, Tlapacoyan, Tecolutla, Nautla y Gutiérrez Zamora (Hermida, 2023; Salazar, 2024).

4.2 Residuos de la industria platanera

El raquis o vástago, es uno de los residuos generados tanto en la cosecha como en la postcosecha, el impacto ambiental generado es alto, ya que dichos residuos contaminan las fuentes de agua, sirven como hospedero de plagas que causan enfermedad a la misma planta (Botero y Mazzeo, 2009).

Según Bao *et al.* (1987), describe que una planta de plátano pesa en promedio 100 Kg repartidos en: 15 Kg de hojas, 50 Kg de pseudotallo, 33 Kg de plátano y 2 Kg de raquis.

De acuerdo con SENASICA México en 2023 obtuvo una producción total de 2.6 millones de toneladas y un promedio de producción por hectárea de 30.7 ton., Ayala *et al.* (2016) determina que en promedio el 10 % del peso del racimo *in natura* corresponde al raquis, por lo que se estima un aproximado del remanente de raquis en 260 mil toneladas de la producción nacional y 3.07 ton/ha.

4.3 Valor nutricional del raquis de plátano

El raquis, las hojas y el pseudotallo contienen elementos nutritivos importantes, tales como proteínas, carbohidratos, fibra y vitaminas que se puede industrializar a fin de obtener productos alimenticios de alto valor nutricional (Botero y Mazzeo, 2009).

4.4 Análisis químico proximal (AQP)

Consiste en determinar mediante diferentes técnicas el contenido de humedad, cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, fibra detergente neutra y acida, cada análisis en conjunto permite conocer el valor nutricional del material que se pretenden incorporar a una dieta.

4.4.1 Materia seca (MS)

El porcentaje de MS se refiere a la cantidad de alimento menos el agua contenida en dicho alimento (Ramírez, 2011). Evaluar el porcentaje de MS en alimentos permite conocer la cantidad de nutrientes que pueden ser aprovechados por el animal, entre menos MS, menos nutrientes.

4.4.2 Cenizas (CE)

El contenido de cenizas sirve como indicador del contenido mineral (Catalán, 2020). Un alto contenido de cenizas puede indicar la presencia de minerales beneficiosos como el calcio o el potasio. Sin embargo, también puede indicar contaminación, por lo que comprender la composición mineral específica es crucial.

4.4.3 Proteína cruda (PC)

El contenido de proteína cruda de un ingrediente se determina usualmente por medio del método Kjeldahl en el cual se mide el contenido de nitrógeno total en la muestra, convirtiendo luego este resultado a un valor total de proteína cruda, mediante una multiplicación por el factor empírico 6.25. Una desventaja del método Kjeldahl, es que no se puede diferenciar el contenido de nitrógeno proteico y no-proteico (NNP) (Tacon, 1989).

4.4.4 Extracto etéreo (EE)

Cuantifica lípidos, grasas totales, ceras y pigmentos presentes en alimentos balanceados extrusados y en grasas de sobrepaso. Este análisis se realiza mediante un pretratamiento ácido de la muestra (Tacón, 1989).

4.4.5 Fibra cruda (FC)

Método químico usado para describir la porción indigerible del material vegetal, principalmente celulosa, hemicelulosa y lignina. Sin embargo, algunas de estas sustancias pueden ser digeridas parcialmente por microorganismos en el rumen del ganado. Cuanto más alto sea el contenido en fibra, menor será el contenido energético del pienso (Tacón 1989; FOSS, 2018)

4.4.6 Fibra detergente neutra (FDN)

El valor de la FDN es la pared celular total que está compuesta por la fracción de la FDA más la hemicelulosa. Los valores de la FDN son importantes ya que reflejan la cantidad de forraje que puede consumir el animal. A medida que aumenta el porcentaje de la FDN, la ingesta de materia seca por lo general se reduce (FOSS, 2018).

4.4.7 Fibra detergente ácida (FDA)

El valor de la FDA hace referencia a las porciones de pared celular del forraje que están compuestas de celulosa y lignina. Estos valores son importantes porque tienen que ver con la capacidad de un animal para digerir el forraje. A medida que la FDA aumenta, se reduce la capacidad de digerir o la digestibilidad del forraje (FOSS, 2018).

4.4.8 Extracto libre de nitrógeno (ELN)

Mide indirectamente los carbohidratos “solubles” o “digeribles” presentes en el alimento, constituido por almidones, azúcares y otros carbohidratos digeribles (Tacon, 1989).

4.5 Importancia de la fibra en rumiantes

La fibra está constituida por un conjunto de carbohidratos estructurales, llamados así por formar la pared celular. Estos compuestos son principalmente celulosa, lignina y hemicelulosa (Figura 1), su paso permite la función del rumen y maximizar el consumo de energía. Pueden ser suministrada por una combinación de forrajes o subproductos fibrosos (Fernández, 2012).

4.5.1 Pared celular vegetal

La pared celular tiene una función mecánica. Es la responsable de la forma, tamaño, protección y estructura a las células de las plantas. Morfológicamente la pared está formada por:

Lamina media: actúa como un pegamento que se une a las células vecinas, está formada principalmente por pectinas, aunque puede lignificarse en aquellas células que tienen pared celular (Megías *et al.*, 2022).

Pared celular primaria: es la primera capa visible de la pared celular, es responsable de la forma y tamaño inicial de la célula vegetal. La célula detiene su crecimiento cuando la pared celular primaria se vuelve rígida. Está compuesta por un 25 – 30 % de celulosa, 30 % de hemicelulosa, 35 % de pectinas y del 1 a 5 % de glicoproteínas (Megías *et al.*, 2022).

Pared celular secundaria: se sintetiza durante la fase final del crecimiento celular, es el principal componente de la madera. Conformada por celulosa 40 – 60 % MS, hemicelulosa 10 – 40 % MS y lignina 10 – 35 % MS (Megías *et al.*, 2022).

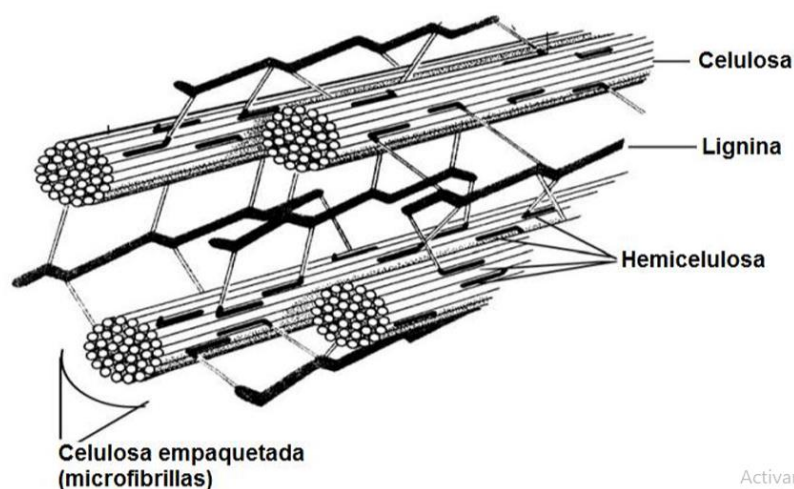


Figura 1. Localización y disposición de los principales componentes poliméricos en las paredes celulares de plantas (Murphy y McCarthy, 2005).

4.6 Fibras convencionales

La de fibra más común en rumiantes es el maíz, debido a su volumen en el campo mexicano, además, existen otras fuentes de fibra que son usadas en rumiantes, como la pajas de sorgo, trigo, frijol, arroz, cebada, soya, cáscara de algodón y subproductos de la industria azucarera como melaza y bagazos que forman parte de los esquilmos de los cereales (Macedo, 2000).

La utilización del rastrojo de maíz como alimento en rumiantes no tiene repercusiones por su valor nutricional, baja digestibilidad y alto contenido de fibra, debido a su estado de

lignificación, sin embargo, es común su utilización sin realizar antes un tratamiento que permita su eficiencia, a pesar de existir diversas técnicas que favorecen su mejoramiento (Fuentes *et al.*, 2001).

4.7 Forrajes, subproductos y residuos agroindustriales

Siguiendo la definición de Lin y Tanaka (2006), los residuos agroindustriales se refieren a biomasa, principalmente de origen vegetal, compuesta de celulosa, hemicelulosa y lignina. La composición de estos componentes depende de la fuente y generación de residuos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido de sustancias poliméricas en los residuos agroindustriales.

Residuo	Porcentaje de componentes		
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Cáscara de cacahuete	46.5	9.7	41.3
Salvado de trigo	12.23 ± 3.2	34.15 ± 8.9	2.78 ± 0.8
Cáscara de soya	48.2 ± 2.1	24.0 ± 3.0	5.78 ± 1.06
Cáscara de arroz	33	26	7
Residuo de cartón	40 – 60	20 – 40	10 – 25
Bagazo de caña	43.6	27.7	27.7
Residuos de maíz	33 – 35	21 – 24	17 – 22
Cáscara de naranja	35 – 50	15 – 25	20 – 25
Cáscara de nuez	25 - 30	25 - 30	30 - 40

Fuente: (Sanchez, 2015).

4.8 Criterios para el amonificado

El contenido nutricional de algunos materiales fibrosos es fácilmente identificado por su baja digestibilidad, en el cuadro 2 se especifican los valores a considerar para amonificar.

Cuadro 2: Parámetros para amonificación de material fibroso en 100 % de materia seca.

Autores	% NDT	% FC	% FDA	% L	% PC
Conrad y Pastrana (1990)	< 50	30	35 - 55	5 - 16	< 5
Cardona (2013)	< 50	-	> 65	> 10	< 8

Nutrientes digestibles totales (NDT), fibra cruda (FC), fibra detergente acida (FDA), lignina (L), proteína cruda (PC), Fuente: elaboración propia.

En las múltiples evaluaciones realizadas, no solo en países tropicales sino también de clima templado, sobre el efecto de la amonificación de tamos frescos y henificados de cereal, se ha determinado que su digestibilidad aumenta hasta en un 20% (45 al 65%), su contenido en proteína cruda de 5 al 9.4%, además se aumentó el consumo entre el 20 a 40% (Cardona, 2013).

Otra ventaja de la amonificación es que se puede hacer con múltiples materiales, escogiendo los de mayor disponibilidad propia o ajena, los de menor precio de compra-venta, manipulación, transporte, dependiendo de la distancia entre los sitios de abastecimiento y suministro (Botero, 2007).

4.9 Urea

También conocida como carbamida, carbonildiamida o ácido albamidico, cuya fórmula química es $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, contiene 45 % de nitrógeno y un 281 % equivalente de proteína ($45 \times 6.25 = 281$). Se presenta en el mercado en forma granulada y perlada, siendo esta última la más recomendada para el uso animal por su soltura y facilidad para mezclar con otros ingredientes, produce gases inflamables y tóxicos (NH_3 y CO_2) (Conrad y Pastrana 1990; Coronel, 2015).

4.10 Amonificación

El amonificado es un proceso físico-químico, que mejorar el valor nutricional y la digestibilidad, así como incrementar los niveles de proteína. Además, la amonificación permite conservar los almidones y azúcares, de alto valor energético, en la forma original en la que se encuentran en el alimento, evitando su pérdida por fermentación al convertirse en alcoholes (Botero, 2007).

El proceso de amonificación utiliza la urea como fuente de amoníaco, dependiendo de la hidrólisis que realizan las ureasas vegetales para producir amoníaco. Al tratar el rastrojo con estas sustancias, se realiza una predigestión, por lo que se aprovecha de un modo más eficiente, ya que al hacerlo más disponible a los microorganismos del rumen se mejora la producción animal (Fuentes *et al.*, 2001).

Esta estrategia aprovecha el efecto hidrolizante del NH_3 sobre los enlaces químicos entre lignina y polisacáridos estructurales, aumentando la accesibilidad de las enzimas celulolíticas del rumen a dichos componentes de la pared celular (Ventura *et al.*, 2002). Además, se produce

un incremento del contenido de PB como consecuencia de la fijación del NH_3 a tejidos vegetales (Bravo *et al.*, 2008).

4.11 Condiciones favorables para la amonificación

El efecto que tiene la calidad de un forraje o subproducto al momento de su recolección, la relación hoja – tallo, así como de su manejo agronómico, repercute en la disponibilidad y calidad del amonificar (Botero, 2007). Otros factores que ayudan a mejorar los resultados son los que a continuación se describen.

4.11.1 Duración del amonificado

Castellanos *et al.* (2017) hace mención que en periodo de 14 días solo se afecta el contenido se, mientras Mina *et al.* (2018) evaluó un periodo de 60 días, obteniendo un incremento de proteínas y disminución de la fibra detergente. Sin embargo, en periodos de 28 días, es posible tener mayor contenido de proteína y menores contenidos de FDN y FDA (Ponce y Romero 2015).

4.11.2 Humedad

La humedad tiene efecto significativo al amonificar, el contenido de humedad de 20 y 30 % resulta óptimo en los materiales evaluados por Mina *et al.* (2018), ya que se observa un incremento significativo en la calidad nutritiva de los rastrojos tratados. Por el contrario, se tiene que agregar el porcentaje de humedad faltante al momento de diluir la urea en agua.

4.11.3 Temperatura

Existe el riesgo al sobrecalentamiento del material amonificado húmedo y expuesto al sol directo, ocasionado la producción de sustancia toxica denominada Metil Imidazole, que causa incoordinación motora, por lo que se recomienda almacenar bajo sombra (Botero, 2007; Cardona, 2013).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización

El presente trabajo se llevó a cabo del mes de Julio a Septiembre del año 2024 en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), perteneciente al programa educativo de Ingeniería Agronómica y Zootecnia ubicada en el municipio de Tlatlauquitepec, Puebla, México (Figura 2), con coordenadas geográficas: 19°50'25.42" de latitud norte y 97°29'52.68" de longitud oeste, con una elevación de 1950 msnm (INEGI, 2010), las evaluaciones se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Bromatología de la Institución.

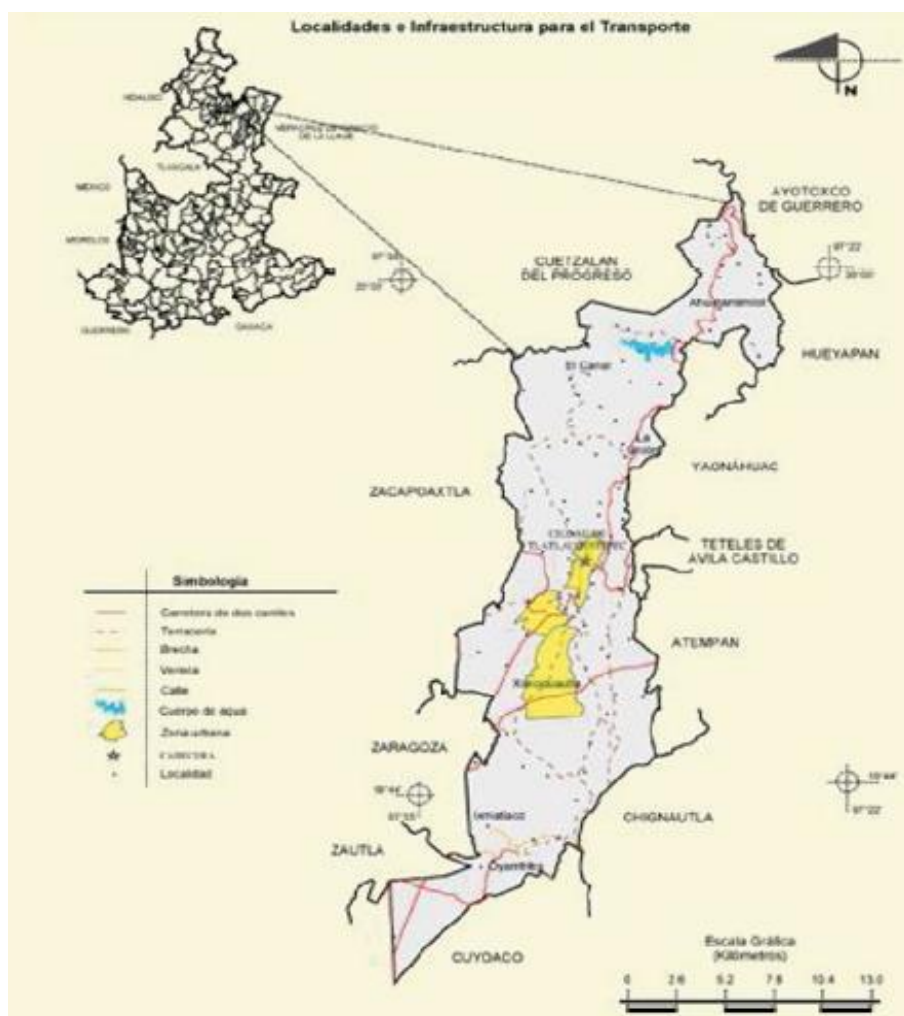


Figura 2. Localización geográfica de Tlatlauquitepec, Puebla, México; Fuente: (INEGI, 2010).

5.2 Recolección y manejo del raquis de plátano (*Musa AAB Simmonds*)

Se colectó el raquis de plátano, variedad dominico en diversas empacadoras del municipio de Tlapacoyan, Veracruz (Anexo1). Antes de procesarlo se tomó el peso en fresco para poder determinar el porcentaje de humedad al 0 y 30%. Posteriormente se picó a un tamaño de 4 cm, para posteriormente ser molido en una picadora de motor a gasolina, con la finalidad de tener un tamaño de partícula apropiado para eliminar el exceso de humedad (Anexo 2 y 3).

Para lograr el 0% de humedad se usó una estufa de secado a 75 °C de temperatura durante 72 h o bien hasta que la muestra mantuviera un peso constante, los tratamientos con 30% de humedad se secaron al sol y pesaron en una báscula digital (Anexo 4), hasta obtener el peso calculado ((peso fresco x 30 % H) /100 %).

Como fuente NH_3 se utilizó urea granulada al 46 % (FERTIMAX®), en cada tratamiento la adición se calculó en porcentaje de MS (0, 3, 6 y 9 %), fue prescindible agregar 2 L (30 % H) y 5.5 L (0 % H) de agua para poder disolver la urea y agregar con una mochila de aspersión de 20 L de forma uniforme al material (Anexo 5), considerando lo descrito por Pérez (2021).

El amonificado es un proceso aerobio por ello se realizó en 6 bolsas negras (1.20 X .80 m), 3 bolsas(b) se emplearon 10 kg/b de raquis con el 30 % H y los 3 niveles de adición de urea (3, 6 y 9 %) por bolsa. Los tres tratamientos restantes se manejaron de igual forma, pero con el 0 % de H de raquis (Anexo 6). Al transcurrir 21 días fueron abiertos, antes de tomar las muestras se ventilaron durante 3 h con el objetivo de liberar el NH_3 que se produjo (Anexo 6), después se tomaron muestras representativas de cada tratamiento y etiquetaron.

Posteriormente, fueron trasladadas hasta el laboratorio de bromatología para secar la muestra en la estufa de secado durante 72 h, después se tomó su peso en seco y fueron molidas utilizando la criba de 1 mm y colectadas en frascos de plástico para evitar que las muestras absorban humedad del ambiente, de esta forma se evitan errores al momento de ser realizado el AQP.

5.3 Tratamientos experimentales

Tomando como criterio lo descrito por diferentes autores (Bucardo y Corea, 2001; Ventura *et al.*, 2002; Mina *et al.*, 2018), se determinaron los siguientes tratamientos experimentales:

Cuadro 3: Tratamientos para amonificado de raquis de plátano.

Tratamiento: 10 kg	Urea (g)
T1 Testigo	0
T2 3 % U – 30 % H	300
T3 3 % U – 0 % H	300
T4 6 % U – 30 % H	600
T5 6 % U – 0 % H	600
T6 9 % U – 30 % H	900
T7 9 % U – 0 % H	900

T1: Testigo; T2 3 % U – 30 % H: Tratamiento 2, 3 % de Urea y 30 % de Humedad; T3 3 % U – 0 % H: Tratamiento 3, 3 % de Urea y 0 % de Humedad; T4 6 % U – 30 % H: Tratamiento 4, 6 % de Urea y 30 % de Humedad; T5 6 % U – 0 % H: Tratamiento 5, 6 % de Urea y 0 % de Humedad; T6 9 % U – 30 % H: Tratamiento 6, 9 % de Urea y 30 % de Humedad; T7 9 % U – 0 % H: Tratamiento 7, 9 % de Urea y 0 % de Humedad.

5.4 Diseño estadístico

Se utilizo un diseño completamente al azar, con tres repeticiones, en un arreglo factorial 4x2 de acuerdo con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + E_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} = Variable de respuesta (CE, PC, EE, FC, FDN, FDA y ELN expresado en porcentaje) en el i-ésimo tratamiento de la j-ésima repetición.

μ = Media general.

T_i = efecto del i-esimo tratamiento (0, 3, 6 y 9 % de urea).

E_{ij} = error aleatorio

5.5 Variables evaluadas

Se utilizo los procedimientos descritos por AOAC (2005) con ligeras modificaciones para evaluar materia seca (MS), proteína cruda (PC), cenizas (CE), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FB), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) extracto libre de nitrógeno (ELN).

5.5.1 Materia seca (MS)

Para poder calcular MS se tomó el peso del raquis de plátano en fresco, como referencia 1 kg, secamos la muestra en una estufa de secado a 75 °C por 72 h, al perder humedad por deshidratación se toma el peso final, calculando peso fresco menos el peso seco, entre el peso fresco y el resultado obtenido se multiplica por cien.

5.5.2 Cenizas (CE)

Se colocaron crisoles de porcelana en la mufla a una temperatura de 100 a 110 °C. durante 1 h. Después se pasaron a un desecador por 20 min., luego se tomó el peso del crisol y se le agregó 2g. de muestra. Una vez pesados el crisol más la muestra se colocó dentro de la mufla a 600 °C durante 4 h y se dejó enfriar por 12 h.

Pasado el tiempo se retiraron de la mufla y los crisoles fueron colocados en el desecador por 45 min para poder tomar el peso de cenizas de la muestra más el crisol. La siguiente formula nos permito calcular el porcentaje de cenizas de esta variable:

$$\% \text{ de Cenizas} = \frac{\text{Peso crisol con cenizas} - \text{Peso de crisol solo}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.5.3 Proteína cruda (PC)

El método de Micro-Kjendahl permitio determinar la PC, utilizando 0.3 g de muestra, 0.5 g de catalizador y 3 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄), todo esto en un matraz para digestión de 100 mL.

En la parrilla del digestor se colocó el matraz de 100 mL y se encendió la campana de extracción, por un tiempo de 1 a 2 h hasta que la solución se torne transparente. Posteriormente retiramos las muestras de la parrilla y dejamos enfriar en el soporte para tubos de digestión, luego en el destilador micro Kjendahl se le agrego 10 mL de hidróxido de sodio (NaOH) y en un matraz Erlen Meyer de 50 mL se colocaron 6 mL de solución boratada (H₃BO₃) al 4 %, para poder colocarlo en el condensador del destilador micro Kjendahl, y posteriormente titular con ácido clorhídrico (HCL al 0.1 N) el gasto.

Con los datos obtenidos podemos calcular el % de Nitrógeno y PC con la siguiente formula

$$\% \text{ de N} = \frac{(\text{ml de HCL})(\text{Normalidad del HCL})(0.014)}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Y la proteína se obtiene al calcular %N X 6.25 que es una constante.

5.5.4 Extracto etéreo (EE)

Para la realización de esta práctica se utilizaron guantes de nitrilo y cubrebocas para evitar contaminar los materiales que se manipularon con las manos, como primer paso se colocaron los matraces del equipo soxhlet y filtros del No. 541 en la estufa a 110 ° C durante 1 h, después se dejaron en un desecador por 20 min para enfriarse a temperatura ambiente, posteriormente en una balanza analítica se tomó el peso de cada uno de ellos. En el papel filtro se agregó 2 g de muestra previamente secadas y molidas a un tamaño de partícula de 1 mm, al determinar los pesos se depositaron en un tubo de extracción del equipo soxhlet.

Una vez listo todo lo anterior, se encendieron las parrillas y la red de alimentación de agua fría para el uso del condensador. Se procedió a colocar las muestras que previamente estaban en el tubo de extracción, en la boquilla del condensador, colocando el tubo de extracción y debajo de este mismo el matraz soxhlet con 30 mL de éter de petróleo.

Durante 5 h se dejaron las muestras en ebullición, cuidando que no hubiera perdidas del éter de petróleo por los condensadores. Transcurrir el tiempo se apagaron las parrillas y retiraron los condensadores, al igual que el tubo de extracción, dejando únicamente el matraz con todo el éter de petróleo en cada una de las muestras para trasladarlos a la campana de extracción donde se colocaron sobre otra parrilla previamente calentada para evaporizar el éter de petróleo y obtener la grasa extraída.

Se retiraron los matraces del equipo soxhlet de la campana cuando todo el éter de petróleo se evaporó, continuando con su secado en la estufa a 110 °C por 1 h. Por consiguiente, se colocaron nuevamente en el desecador para que se enfriaran los matraces soxhlet durante 20 min. y como último paso se tomó el peso del matraz más la grasa. La fórmula que a continuación se muestra nos permitirá calcular EE en base seca.

$$\% \text{ de EE} = \frac{\text{Peso del matraz con muestra} - \text{Peso del matraz}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.5.5 Fibra bruta (FB)

Se pesó en una balanza analítica 1.5 g de muestra desengrasada y libre de humedad. Depositándose en un matraz de fondo plano con capacidad de 500 mL, al cual se le agrego 200 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 1.25% previamente calentado.

Posteriormente fueron colocadas en las parrillas junto con los condensadores, cronometrando 30 min al momento de hervir, cuidado que el exceso de espuma no llevara la muestra hasta el condensador y perderse. Al mismo tiempo, se comenzó a calentar hidróxido de sodio (NaHO) al 1.25% para acelerar el segundo proceso de ebullición. Una vez transcurrida la media hora, se retiraron.

Para el enjuague de cada una de las muestras se colocó papel filtro (No. 41) de poro abierto en un embudo. Se realizaron tres enjuagues con agua destilada caliente, enjuagando con el uso de la bomba de vacío, embudo más el papel filtro. Posteriormente se tituló con la ayuda del Naranja de metilo en matraces de 225 mL, para determinar el momento de agregar la solución previamente calentada de hidróxido de sodio (NaHO) al 1.25% a las muestras previamente tratadas. Una vez depositada toda la muestra en el matraz, se agregó la solución precalentada hasta los 200 mL en el matraz de 500 mL, colocando nuevamente el matraz en las parrillas y dejando que procediera a hervir durante otros 30 min. Al término de este tiempo se enjuagó nuevamente y filtro a través del papel filtro No. 41 previamente secado y pesado. Realizando nuevamente tres enjuagues con agua destilada caliente a la muestra que llego a quedar en el matraz de 500 mL, titulando nuevamente en matraces de 225 mL, con Fenolftaleína para considerar si el enjuague se había realizado de forma correcta, por último, se enjuago con acetona cada muestra. Al terminar de enjuagar, se dobló el papel filtro con la muestra en un crisol llenándolas a la estufa de secado durante 8 horas a una temperatura de 100 °C, posteriormente se colocaron en un desecador por 20 min antes de pesar.

Para calcular se utiliza la siguiente formula:

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{\text{Peso del filtro con muestra} - \text{Peso del filtro solo}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.5.6 Fibra detergente neutra (FDN)

Utilizamos para este análisis un matraz de fondo plano de 250 mL al cual se le agrego 0.5 g de la muestra seca y molida (partícula de 1 mm) más 50 mL de la solución detergente neutra.

Posteriormente se pasaron a las parrillas para hervir durante 1 h. Para enjuagar se usó papel filtro número 541 (previamente secados y pesados) en un embudo y conectado a la bomba de vacío para extraer la solución neutra. Enjuagándose dos veces con agua caliente (90-100°C) de forma que todos los residuos de muestra presentes en el matraz se depositaran en el papel filtro. Como ultimo enjuague se utilizó acetona y en un crisol seco se depositó el papel filtro, después se colocaron en la estufa durante 8 h a 100 °C. Transcurrido el tiempo de secado se pesaron los filtros y calculo la fibra detergente neutra mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FDN} = \frac{\text{Peso del fitro con muestra} - \text{Peso del filtro solo}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.5.7 Fibra detergente acida (FDA)

Utilizamos para este análisis un matraz de fondo plano de 250 mL al cual se le agrego 0.5 g de la muestra seca y molida (partícula de 1 mm) más 50 mL de la solución detergente acida. Posteriormente se pasaron a las parrillas para hervir durante 1 h. Para enjuagar se usó papel filtro número 541 (previamente secados y pesados) en un embudo y conectado a la bomba de vacío para extraer la solución acida. Enjuagándose dos veces con agua caliente (90-100°C) de forma que todos los residuos de muestra presentes en el matraz se depositaran en el papel filtro. Como ultimo enjuague se utilizó acetona y en un crisol seco se depositó el papel filtro, después se colocaron en la estufa durante 8 h a 100 °C. Transcurrido el tiempo de secado se pesaron los filtros y calculo la fibra detergente acida mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FDA} = \frac{\text{Peso del filtro con muestra} - \text{Peso del filtro solo}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.5.8 Extracto libre de nitrógeno (ELN)

Este cálculo se realizó al restarle 100 a la suma de los valores de PC, EE y FC.

5.6 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables CE, PC, EE, FC FDN, FDA, y ELN fueron analizados bajo un ANOVA, y la comparación de medias mediante un Tukey ($p < 0.05$), utilizando el programa SAS versión 9.0.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Materia seca (MS)

Se determinó el porcentaje de MS en raquis de plátano dominico el cual corresponde al 6.53 %, coincidiendo con Álvarez *et al.* (2015) al evaluar el porcentaje de MS en el pseudotallo y raquis, obteniendo 5 a 10 % de MS respectivamente.

5.2 Cenizas (CE)

El comportamiento que se representa en la composición de CE muestra diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos con 0 y 30 % de H (Figura 3).

Es relevante destacar el efecto decreciente que se presenta al utilizar el 3, 6 y 9 de urea, considerando el T1 (23.8%), se puede determinar que a menor porcentaje de urea hay menos pérdida de minerales. Los resultados del presente trabajo no tienen relación con lo descrito por Mina *et al.* (2018) quien encuentra respuesta lineal positiva constituida por los niveles de inclusión de urea en heno de avena con el 30 % de humedad.

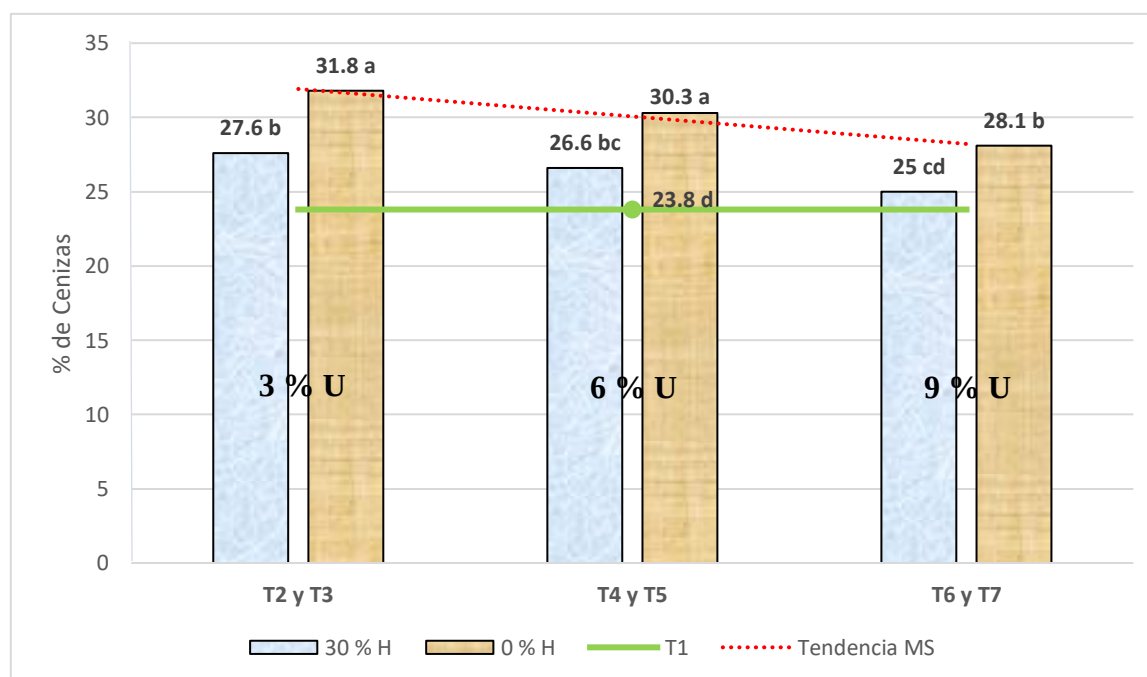


Figura 3. Efecto de la amonificación en raquis de plátano sobre el porcentaje de cenizas. T1: testigo; 30 % H (Humedad); T2: tratamiento 2; T4: tratamiento 4; T6: tratamiento 6; 0 % H (Humedad); T3: tratamiento 3; T5: tratamiento 5; T7: tratamiento 7; valores con literales diferentes presentan diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

No obstante, existe la similitud de los resultados compilados por Bucardo y Corea (2001) quien no encontró diferencias significativas ($P>0.05$) al evaluar cascarilla de arroz con 7, 9, 11 y 13 % de urea, pero reporta una disminución en CE de un 23.95 % a 22.33 %.

5.3 Proteína cruda (PC)

La incorporación de 3, 6 y 9 % de urea presentan correlación con el porcentaje de PC entre los tratamientos, así como diferencia significativa ($P\leq 0.05$) entre el porcentaje de adición de urea por tratamiento y porcentaje de humedad, alcanzando en el T6 y T7 mayor valor de PC. Obtiene mejores niveles de PC en tratamientos con 0 % H (Figura 4).

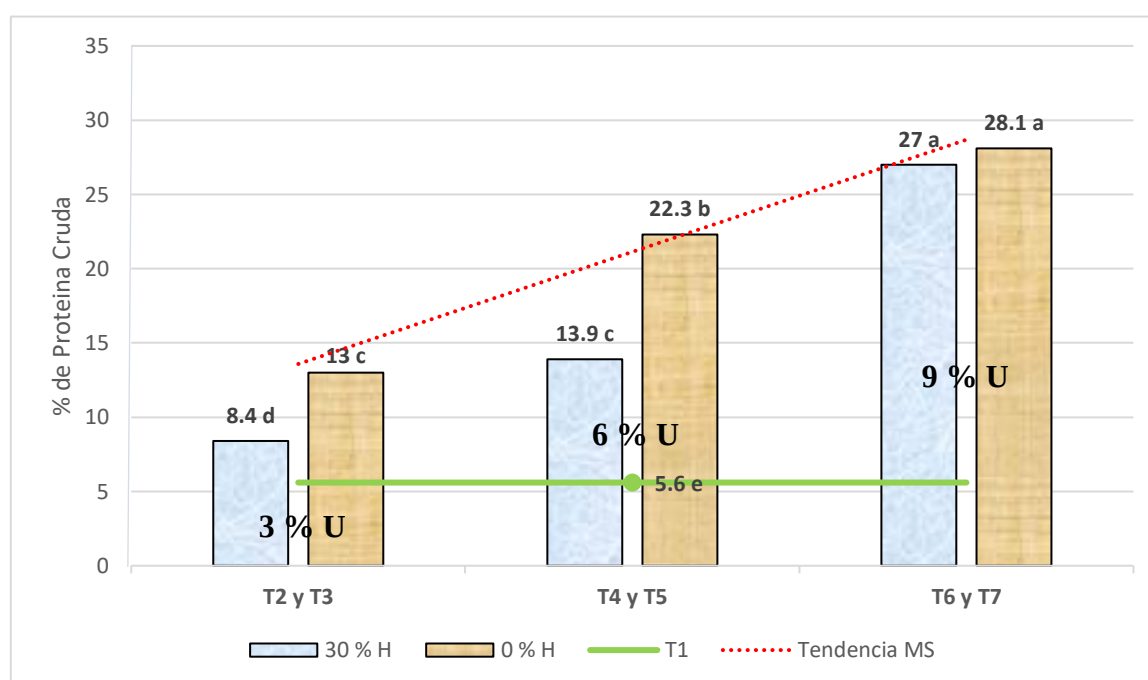


Figura 4. Resultado de la amonificación con urea sobre el porcentaje de proteína. T1: testigo; 30 % H (Humedad); T2: tratamiento 2; T4: tratamiento 4; T6: tratamiento 6; 0 % H (Humedad); T3: tratamiento 3; T5: tratamiento 5; T7: tratamiento 7; valores con literales diferentes presentan diferencia significativa ($P\geq 0.05$).

Los resultados del T2 y T4 tienen similitud con lo reportados por Castellanos *et al.* (2017), quienes obtuvieron 8.02 y 12.92 % de PC al tratar rastrojo de maíz con 3 y 6 % de Urea. Cuesta y Ladero (1988) amonificarón diferentes ingredientes al 30 % de humedad, indicando que el contenido de PC aumenta en 6 a 7 veces, cuando los materiales sin tratar tienen menos de 3 % de PC, mientras que los que presentan más de 5 % de PC aumentan de 2 a 3.5 veces.

Para el análisis general de los tratamientos con 3, 6 y 9 % de urea comparados con los resultados descritos por Bucardo y Corea (2001), quienes determinaron que el porcentaje de PC incrementa a razón de la inclusión de urea (7, 9, 11 y 13 %) en cascarilla de arroz, concluyendo que con el 13 % de urea se obtenía 15.45 % de PC. Si se compara los resultados expuestos en el presente trabajo de investigación y su comparación con otras fuentes de fibra, se comprueba que mejora los valores en la relación urea/PC, al utilizar 9 % de urea con 0 o 30 % de humedad obteniendo valores de 27 y 28.1 % de PC respectivamente.

5.4 Extracto etéreo (EE)

Con lo que respecta al EE la amonificación de raquis no expone diferencia significativa ($P \geq 0.05$) sin embargo, se observa que el contenido de grasas disminuye sin importar el porcentaje de urea incluido en cada uno de los tratamientos (Figura 5).

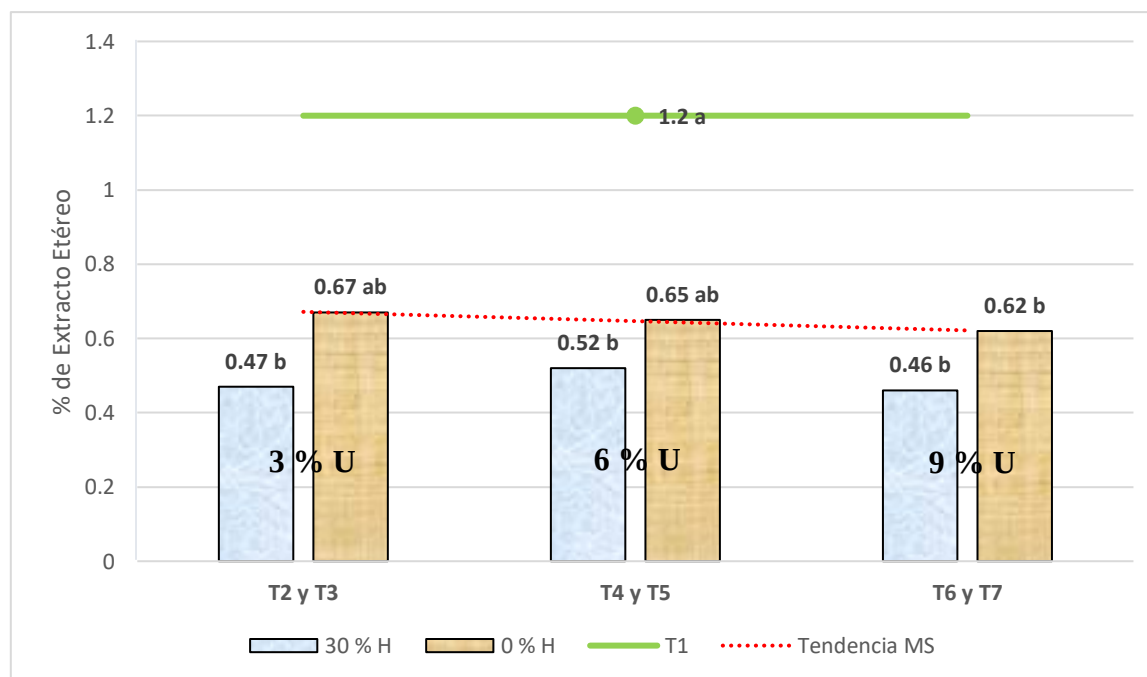


Figura 5. Porcentaje de extracto etéreo en los tratamientos. T1: testigo; 30 % H (Humedad); T2: tratamiento 2; T4: tratamiento 4; T6: tratamiento 6; 0 % H (Humedad); T3: tratamiento 3; T5: tratamiento 5; T7: tratamiento 7; valores con literales diferentes presentan diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Ponce y Romero (2015) determinaron el porcentaje de EE en maíz, sin encontrar diferencias entre tratamientos (0.98, 1.02 y 0.83 % respectivamente) pero si con el testigo (0.35 %) al utilizar 3 % de urea.

5.5 Fibra cruda (FC)

El comportamiento en FC no presenta diferencias significativas ($P \geq 0.05$) ante los diferentes niveles de urea y humedad tal como se observa en la figura 6.

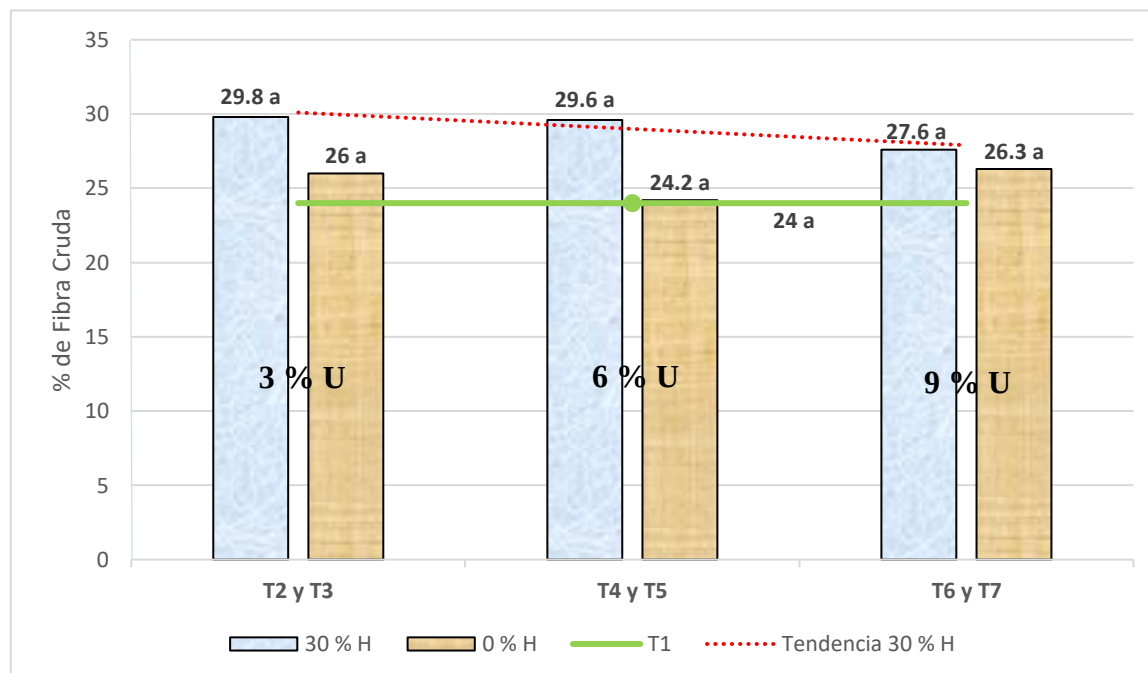


Figura 6. Porcentaje de fibra cruda en amonificado de raquis. T1: testigo; 30 % H (Humedad); T2: tratamiento 2; T4: tratamiento 4; T6: tratamiento 6; 0 % H (Humedad); T3: tratamiento 3; T5: tratamiento 5; T7: tratamiento 7; valores con literales diferentes presentan diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Los resultados presentados en este trabajo de investigación concuerdan con los expuestos por Ponce y Romero (2015) quienes amonificarón rastrojo de maíz durante 21, 28 y 35 días con el 3 % de urea en materiales a base húmeda, aunque llega a tener diferencia significativa ($P < 0.05$) cuando hace la evaluación de los mismos tratamientos en base seca.

En cascarilla de arroz aun con 13 % de urea no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) presentando diferencia de 2.18 % entre el 7 y 13 % de la inclusión de urea (Bucardo y Corea, 2001).

5.7 Fibra detergente neutra (FDN)

El comportamiento de la FDN no tiene diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre tratamientos con el 3, 6 y 9 % de urea, sin embargo, en T5 y T6 presentan diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con el T1 (Figura 7).

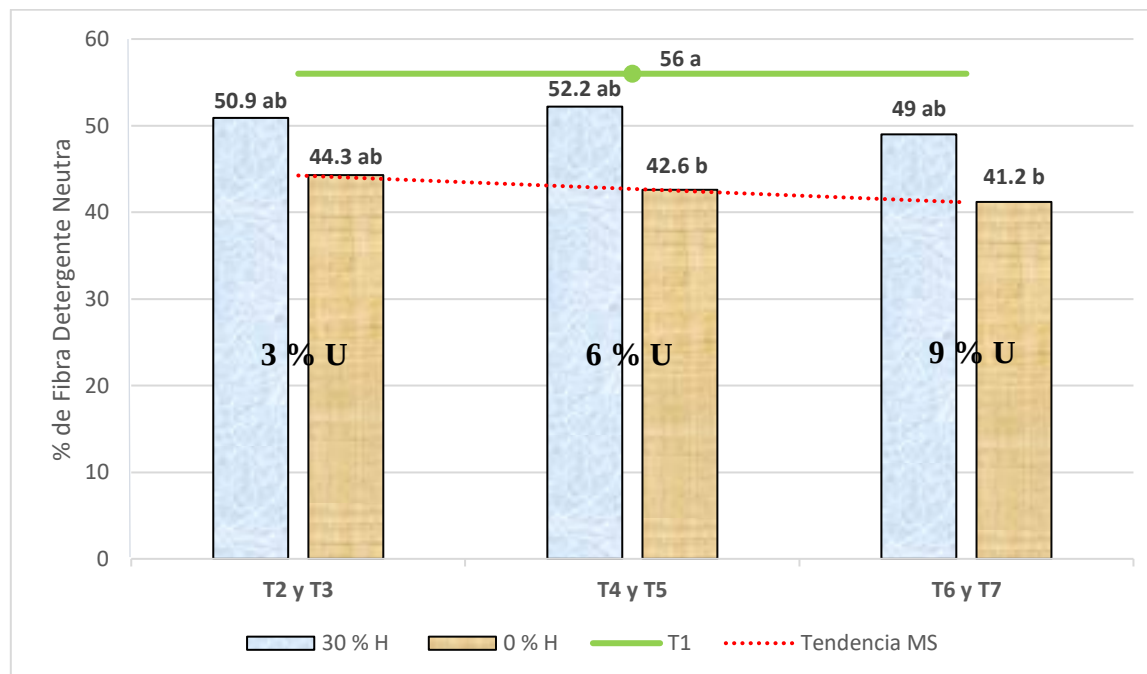


Figura 7. Contenido de FDN ante la amonificación de raquis de plátano. T1: testigo; 30 % H (Humedad); T2: tratamiento 2; T4: tratamiento 4; T6: tratamiento 6; 0 % H (Humedad); T3: tratamiento 3; T5: tratamiento 5; T7: tratamiento 7; valores con literales diferentes presentan diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Bravo *et al.* (2008) y Mina *et al.* (2018) realizaron estudios con paja de trigo y heno de avena bajo distintos parámetros, pero en ambos estudios no presentan diferencia significativa sobre el contenido de FDN y FDA.

Por otra parte, Ponce y Romero (2015) reporta que al amonificar en un periodo de 35 días con el 3 % de urea brinda una disminución importante de la FDN y FDA, tras ser comparados con 21 y 28 días.

5.8 Fibra detergente acida (FDA)

La interacción que se planteaba sobre la inclusión de con urea en porcentajes elevados sobre el periodo de tiempo (21 días), no tienen efecto significativo ($P \geq 0.05$) entre los tratamientos al ser comparados (Figura 8).

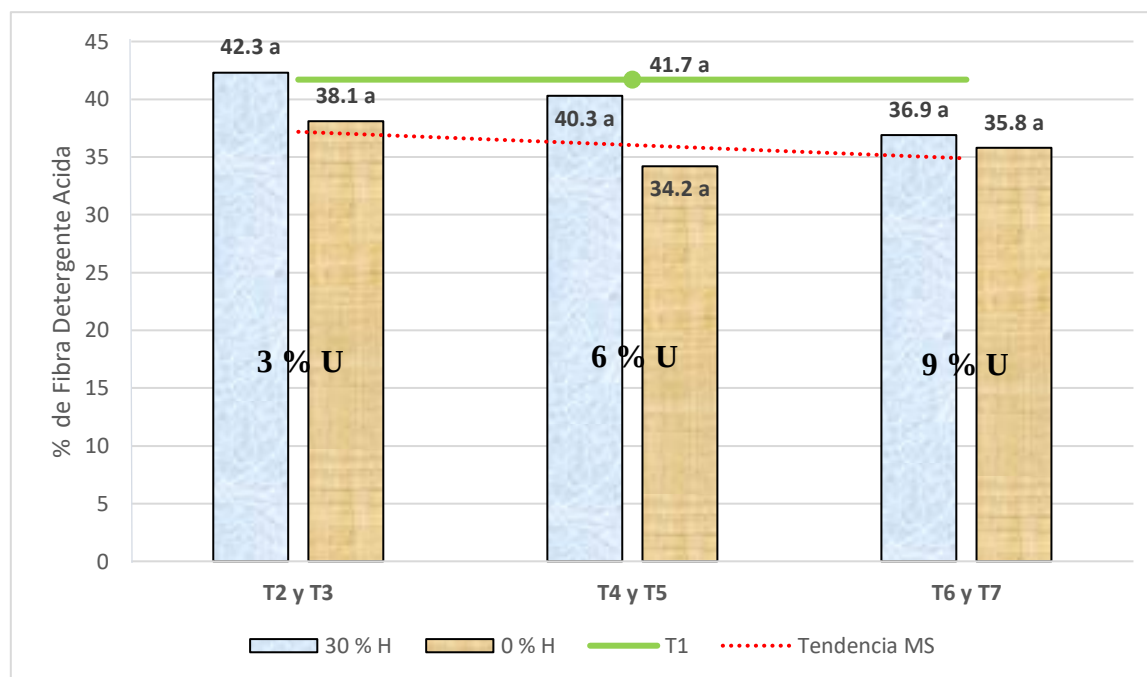


Figura 8. Comportamiento del amonificado de raquis sobre el porcentaje de FDA. T1: testigo; 30 % H (Humedad); T2: tratamiento 2; T4: tratamiento 4; T6: tratamiento 6; 0 % H (Humedad); T3: tratamiento 3; T5: tratamiento 5; T7: tratamiento 7; valores con literales diferentes presentan diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Algunos subproductos de la agroindustria que ha sido estudiado es el bagazo de caña, mediante inclusión de urea al 5 %, con 40 % de humedad y 30 días de fermentación se obtuvieron resultados significativos ($P < 0.01$) entre tratamientos disminuyendo el valor de FDN (49.06 %) y FDA (28.45 %) (Hurtado *et al.*, 2021)

La importancia de mejorar los valores de FC, FDN y FDA por el método de amonificación en el presente trabajo, nos permite destacar la simbiosis de enzimas como la ureasa respecto con la urea para producir amoníaco (NH_3). Comprendiendo que los niveles de ureasa presentes en el raquis de plátano, esquilmos agrícolas y subproductos de la agroindustria no presentan valores significativos de estas enzimas que permitan transformar las grandes cantidades de urea que se

agregan en cada uno de los tratamientos. Lo cual se ve reflejado de forma significativa sobre la PC y la inclusión de urea.

Comprendiendo y analizando cada uno de los resultados se recomienda incorporar plantas que aporten ureasa, de forma que favorece la hidrólisis, al mismo tiempo que se aprovecha el porcentaje de urea incluida para la producción de amoníaco (NH_3) teniendo efecto sobre la composición de FC, FDN y FDA.

Otros factores clave son el tiempo del amonificado, humedad y la temperatura, pues son parámetros dependientes, en gran medida del esquema en el cual se propone trabajar para constituir un mejor valor nutricional y digestible sobre fuentes de fibra poco convencionales para la alimentación de rumiantes.

5.6 Extracto libre de nitrógeno (ELN)

Es evidente la diferencia significativa ($P \leq 0.05$) del T2 y T6, relacionando la inclusión de urea con la reducción descendente del ELN (Figura 9).

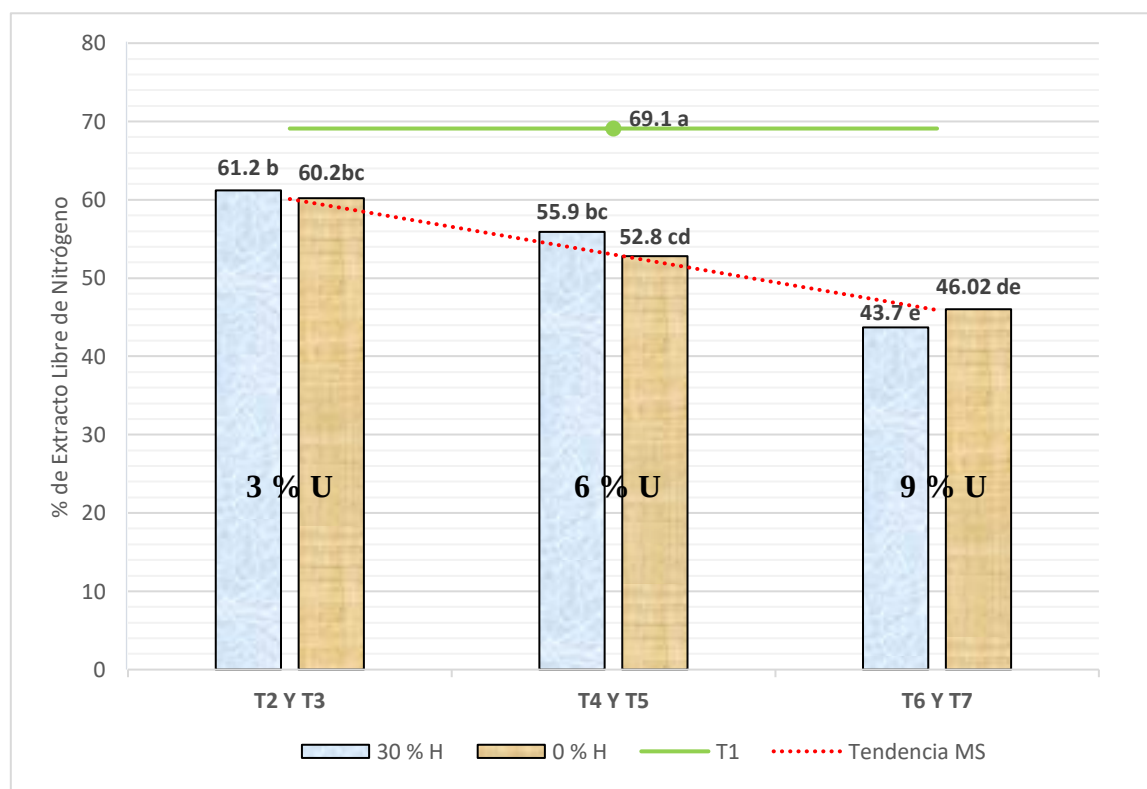


Figura 9. Porcentaje del ELN al amonificar con urea. T1: testigo; 30 % H (Humedad); T2: tratamiento 2; T4: tratamiento 4; T6: tratamiento 6; 0 % H (Humedad); T3: tratamiento 3; T5: tratamiento 5; T7: tratamiento 7; valores con literales diferentes presentan diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

La determinación de ELN en diferentes materiales fibrosos no presenta evaluación sobre esta variable. Pero considerando el efecto del NH_3 sobre las variables de MS, CE, PC, EE y FC promueve una tendencia negativa tras el incremento de urea por tratamiento.

Perdiendo almidones y azúcares de fácil digestión por la fácil volatilización de estos elementos en altas proporciones de NH_3 y humedad.

VI. CONCLUSIÓN

El efecto de inclusión de diversos porcentajes de urea y humedad en la amonificación del raquis de plátano repercute sobre su valor nutricional, a partir de las evaluaciones realizadas en este trabajo nos permite considerarlo como una fuente de fibra y proteína. Sin embargo, aún falta por establecer los niveles de inclusión en rumiantes.

Por lo que la continuación de su investigación bajo otros parámetros (temperatura, humedad, tiempo de amonificación e incorporación de enzimas vegetales) pueda repercutir en mejorar su digestibilidad.

VII. LITERATURA CITADA

- Álvarez S; Méndez P. y Fresno M. 2015. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Ensilado de Destrío de Plátano para la Alimentación Caprina. En Línea: https://www.icia.es/icia/GanAfrica/Ensilado_Platano.pdf Consultado: 19/11/2024.
- AOAC (Association of Analytical Communities). 2005. Official Methods of Analysis. 18th edición. Published by the Association of Official Agricultural Chemists. Washington. 68 p.
- Ayala L; M. Martínez; M. Castro; A. García; E. J. Delgado; Y. Caro y J. Ly. 2016. Chemical composition of raquis from plantain (*Musa Paradisiaca*) bunches and acceptability as food for fattening pigs. Revista Computadorizada de Producción Porcina 23 (2): 79-84.
- Bao M.; Delgado S.; García M. y Torres M. 1987. Aprovechamiento de residuos de platanera. En línea: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=957969> Consultado: 19/11/2024.
- Botero B. R. 2007. La amonificación, una opción artesanal para la conservación y mejoramiento de suplementos utilizados para rumiantes en el trópico. En línea: <https://es.scribd.com/document/149207776/La-amonificacion> Consultado: 19/11/2024.
- Botero L. J. D. y M. H. Mazzeo M. 2009. Obtención de harina de ráquis del plátano dominico hartón, y evaluación de su calidad con fines de industrialización. Vector 4: 83-94. En línea: http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector4_10.pdf Consultado: 19/11/2024.
- Bravo R. D.; H. M. Arelovich; A. C. Storm; M. F. Martínez y M. I. Amela. 2008. Evaluación de métodos de amonificación mediante hidrólisis de urea sobre el valor nutritivo de paja de trigo. Revista Argentina de Producción Animal 28 (3): 179-191.
- Bucardo S. V. M. y Corea C. J. A. 2001. Evaluación del efecto de cuatro niveles de urea (7, 9, 11 y 13 %) sobre la calidad nutritiva de la cascarilla de arroz. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 33 p.
- Caicedo W.; D. Viáfara; M. Pérez; F. N. Alves F.; G. Rubio; R. Yanza; M. Caicedo; L. Caicedo; S. Valle y W. Motta F. 2020. Características químicas del ensilado de raquis de plátano (*Musa paradisiaca*) y banano orito (*Musa acuminata* AA) tratado con suero de leche y urea. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú 31 (4). En línea: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172020000400005&lng=es&nrm=iso&tlng=es Consultado 19/11/2024.
- Cardona M. J. F. 2013. La amonificación de residuos de cosecha para bovinos. En línea: <https://es.slideshare.net/slideshow/amonificacion-residuos-cosecha/25760615#1> Consultado: 19/11/2024.
- Castellanos S.; J. Gamarra; C. Gómez y M. Fernández. 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 del Perú 28 (1). En línea: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172017000100008 Consultado: 19/11/2024.
- Catalán R. R. M. 2020. Análisis proximales en alimentos. En línea: <https://tecnosolucionescr.net/blog/278-analisis-proximales-en-alimentos> Consultado: 19/11/2024.
- Conrad J. H. y R. Pastrana B. 1990. Amonificación, usando urea, para mejorar el valor nutritivo de materiales fibrosos. ICA-Infoma 24 (2): 5-11.
- Coronel R. R. A. 2015. Efecto de la amonificación de la paja de maíz, sobre su valor nutricional. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 44 p.
- Cuesta P. A. y M. A. Ladero. C. 1988. Amonificación de subproductos agrícolas. En línea: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/29685/27142_15178.pdf?sequence=1&isAllowed=y Consultado: 19/11/2024.
- Fernández M. 2012. Función de la fibra en la alimentación. En línea: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_MG%2FMG_2012_245_60_64.pdf Consultado: 19/11/2024.
- FOSS . 2018. El análisis de la fibra en el pienso animal. En línea: [file:///C:/Users/Dell/Downloads/eBook-Fibre-analysis-of-animal-feed-ES%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Dell/Downloads/eBook-Fibre-analysis-of-animal-feed-ES%20(1).pdf) Consultado: 19/11/2024.
- Fuentes J.; C. Magaña; L. Suárez; R. Peña; S. A. Rodríguez H. y B. Ortiz R. 2001. Análisis químico y digestibilidad “*in vitro*” de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.). Agronomía Mesoamericana 12 (2): 189-192.
- García R. O. y D. García O. 2004. Evaluación del efecto de diferentes niveles de amonificación, sobre la calidad nutricional del rastrojo de sorgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 34 p. En línea: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.una.edu.ni/777/1/tnp34g216e.pdf> Consultado: 19/11/2024.
- Hermida, C. 2023. Veracruz, tercer lugar en producción de plátano en todo México. En línea: <https://lasillarota.com/veracruz/estado/2023/4/30/veracruz-tercer-lugar-en-produccion-de-platano-en-todo-mexico-426395.html> Consultado: 19/11/2024.
- Hurtado E. A.; R. D. Vélez S.; Á. R. Bravo V. y E. G. Macías R. 2021. Efectos de la amonificación y tiempo de fermentación sobre la composición bromatológica del bagazo de caña de azúcar. Zootecnia Tropical 39: 1-8.

- Ibarra V. M. A. y L. I. Márquez M. 2022. Identificación de usos potenciales para el aprovechamiento de los residuos generados en el proceso de beneficio del plátano (*Musa paradisiaca*) var. Hartón. CEI boletín informativo 9 (2): 181-188.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2010. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. En línea: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825293109> Consultado: 19/11/2024.
- Lin Y. y S. Tanaka. 2006. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Applied microbiology and biotechnology* 69 (6): 627- 642.
- Macay A. M. A.; A. A. Cadeño M.; M. E. Zambrano M. y J. V. Intriago V. 2023. Uso de raquis de plátano (*Musa AAB*) para la producción de ensilaje como estrategia de economía circular. *Ciencia Latina* 7 (5). En línea: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/8074> Consultado: 19/11/2024.
- Macedo B. R. J. 2000. Análisis del sistema de alimentación pecuario rastrojo de maíz (*Zea mays L.*)- pasto estrella (*Cynodon plectostachus p.*) en la zona norte del estado de Colima. Tesis de Doctorado. En línea: https://sistemas.uco.mx/tesis_posgrado/resumen207.htm Consultado: 19/11/2024.
- Megías M.;Molist P. y Pombal M. 2022. La célula ampliaciones I. Textstudio. En línea: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/atlas-celulas-ampliaciones-I.pdf> Consultado: 19/11/2024.
- Mina E. M.; F. Ramos P.; A. Cordero F.; J. Contreras P.; J. Curasma C. y M. Tunque Q. 2018. Niveles de urea y agua sobre la composición bromatológica del heno de avena (*Avena sativa L.*). *Revista Innovación Veterinaria del Perú* 29 (3): 743-755.
- Murphy J. D. y McCarthy K. 2005. Ethanol production from energy crops and wastes for use as a transport fuel in Ireland. *Applied Energy* 82 (2): 148-166. En línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261904001667> Consultado: 19/11/2024.
- Noa C. J. C.; A. Valencia O.; V. Chávez E.; J. Jarillo R.; N. Flores E.; C. Córdova N.; S. Jarillo G.; R. Montero C. y R. Escobar H. 2018. Obtención de lixiviados de raquis de plátano: uso potencial en cultivos. *CIENCIAUANL* (89). En línea: <https://cienciauanl.uanl.mx/?p=7887> Consultado: 19/11/2024.
- Nouel B. G.; P. Hevia O.; R. Sánchez B.; J. Rojas C. y M. Velásquez. 2013. Producción de corderos alimentados con raciones de bagazo de caña amonificado, subproductos de maíz y cama de pollos,confinados hasta el sacrificio. *Revista Científica* 23 (6): 520-530.
- Pérez M. L. S. 2021. Mejoramiento del consumo de rastrojo de maíz por rumiantes como estrategia para aumentar la producción animal. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Puebla, Puebla. 75 p.

- Pinto R. R.; F. Guevara H.; J. A. Medina; D. Hernández S.; A. Ley de C.; E. Guerra M. 2017. Conducta ingestiva y preferencia bovina por el ensilaje de *Pennisetum* y pulpa de café. *Agronomía Mesoamericana* 28 (1): 59-67.
- Ponce R. E. y R. Romero A. 2015. Amonificación de panca de maíz durante tres periodos y su efecto en la composición bromatológica. *La Técnica* 1 (15): 70-77.
- Ramírez R. H. A. 2011. ¿De qué hablan cuando dicen materia seca?. En línea: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/42-Materia_Seca.pdf Consultado: 19/11/2024.
- Salazar M. 2024. Escasez aumentaría precio del plátano; 90 por ciento de la producción se pierde por sequía. En línea: <https://www.diariodexalapa.com.mx/local/plantaciones-de-platano-en-veracruz-afectadas-por-sequia-que-municipios-lideran-produccion-12389134.html#:~:text=mayor%C3%ADa%20es%20improductiva.-,Al%20a%C3%B1o%2C%20en%20Veracruz%20com%C3%BAmente%20se%20cos> echaba Consultado: 19/11/2024.
- Sanchez O. A. 2015. Síntesis de nanopartículas derivadas de biopolímeros extraídos de biomasa por métodos térmicos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma De Nuevo León. 86 p.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2024. Estudio para determinar el impacto económico de Foc R4T en México. En línea: https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2021/febrero/Estudioparadeterminarelimpactoecon%C3%B3micodeFocR4TenM%C3%A9xico_f78b4bad-6ebb-4ff1-b122-012ffa9112ed.pdf Consultado: 19/11/2024.
- Tacon A. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. En línea: <https://www.fao.org/4/ab492s/AB492S06.htm#ch1.1> Consultado: 19/11/2024.
- Ventura M.; A. Barrios; I. Morales; C. Toro; K. Barreto y F. Noguera. 2002. Efecto de la "amonificación seca" sobre el valor nutricional de la soca de sorgo (*Sorghum bicolor*). *Revista Científica* 7 (2): 513-516.

VIII. ANEXOS



Anexo 1. Recolección de raquis de plátano dominico en empacadoras del municipio de Tlapacoyan, Veracruz.



Anexo 2. Picado y pesaje del raquis para determinar peso fresco.



Anexo 3. Proceso de molido para eliminar exceso de humedad en las muestras.



Anexo 4. Deshidratación de raquis con estufa de secado y al sol.



Anexo 5. Amonificación de raquis de plátano.



Anexo 6. Apertura y aireación de amonificado.



BUAP.

Oficio No. FCAyP/853/2024

Jesús Emmanuel Carreón Cortes
Egresado de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE

Con base en el dictamen emitido por el Dr. Numa Pompilio Castro González (**Director de Tesis**), M.C. Ramiro Escobar Hernández (**Asesor**), Dr. Marcos Pérez Sato (**Asesor**) y Dr. Edgar Valencia Franco (**Asesor**) en su calidad de Consejo Particular, se autoriza la elaboración digital de la tesis titulada:

EFFECTO DE LA AMONIFICACIÓN DEL RAQUIS DE PLÁTANO SOBRE SU VALOR NUTRICIONAL.

Correspondiente a la Licenciatura en Ingeniería Agronómica y Zootecnia.

Sin otro particular por el momento me despido de Usted.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

San Juan Acateno, Teziutlán, Pue., a 02 de Diciembre de 2024.

Dr. Armando Ibáñez Martínez

Director de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias



c.c.p. - Archivo y Minutario
Dr. AIM/mlsm