



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

Trabajo de Graduación

Efecto de inclusión de diferentes niveles de zeolita sobre la Fermentación en estado sólido de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y Marango (*Moringa oleifera*)

AUTORES

Br. Junior Martin Alarcón Torrez

Br. Aldin Ariel Zeledón Ballesteros

ASESORES

Ing. Norlan Caldera Navarrete, MSc

Lic. Rosario Rodríguez Pérez, MSc

Ing. Nadir Reyes Sánchez, PhD.

Managua, Nicaragua, 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL

APROBACION DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la decanatura de la Facultad de Ciencia Animal como requisito para optar al título de:

INGENIERO EN ZOOTECNIA

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR:

Ing. Jerry Antonio Vivas Torres. MSc

Presidente

Ing. Jannin Ronaldo Hernández Blandón

Secretario

Ing. José Domingo Carballo. MSc

Vocal

Sustentante:

Br. Junior Martin Alarcón Torrez

Br. Aldin Ariel Zeledón Ballesteros

Managua, Nicaragua, 2018

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE GRAFICAS	iv
INDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos	4
III. MATERIALES Y METODOS	5
3.1. Localización del área experimental	5
3.2. Material vegetativo utilizado	5
3.2.1. Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	5
3.2.2. Marango (<i>Moringa oleífera</i>).....	5
3.3. Obtención de la Sacchamoringa rustica.....	5
3.6. Manejo del experimento	7
3.7. Diseño experimental y análisis estadístico	8
3.8. El modelo aditivo lineal (MAL)	8
3.9. Variables evaluadas	8
3.9.1. Descripción de las variables.....	9
3.9.1.1. Temperatura de fermentación y pH.....	9
3.9.1.2. Humedad del sustrato	9
3.9.1.3. Temperatura ambiente (°C).....	9
3.9.1.4. El contenido de MS y PB	9
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
4.1. Indicadores FES y bromatológicos de la caña de azúcar con diferentes niveles de inclusión de Zeolita.....	10
4.1.1. Temperatura ambiente y temperatura de fermentación.	10

4.1.2.	pH de fermentación	11
4.1.3.	Humedad del sustrato	14
4.1.4.	Contenido de Proteína Bruta (PB)	16
4.1.5.	Contenido de Materia seca (MS)	18
V.	CONCLUSION.....	20
VI.	RECOMENDACIONES.....	21
VII.	LITERATURA CITADA	22
VIII.	ANEXOS.....	27

DEDICATORIA

A Dios el Creador de todo, por ser el pilar principal de todos los días, dándome fortalezas para salir adelante venciendo cada obstáculo del camino hacia el triunfo cumpliendo unas de mis principales metas, llegar a ser un profesional.

A mi querido padre, Martín Alarcón Urbina y a mi hermosa y adorable Madre Domnina del Pilar Torrez Ocon ya que siempre serán el motor principal en mi vida impulsándome con ayuda emocional y económica hasta donde estoy hoy en día coronando mi primer título profesional, esto se lo debo a ellos los dos, ya que, con sus sacrificios, consejos y apoyo incondicional, nunca me dejaron solo. Tú siempre estás en mi corazón. Nunca te olvidare Papá, los amo.

A mis hermanas, Ena Carolina Alarcón Torres por ayudarme a entender las asignaturas de química, Brenda Ninoska Alarcón Torres, por ayudarme con las matemáticas y Nohelia Isayana Alarcón Torres por su apoyo económico. Gracias por estar conmigo desde el inicio de mi vida y hasta siempre, para mi ejemplo de superación a seguir. Las quiero hermanas.

A Yendry Zulay Flores Juárez ya que es una persona muy especial en mi vida y que siempre estuvo en los momentos más difíciles en todo este proceso de formación.

A mis tíos, primos, amigos, compañeros en general que de una u otra forma siempre están conmigo alentándome con sus consejos, apoyo incondicional para salir adelante logrando mis metas, gracias a todos.

Con mucho aprecio:

Junior Martín Alarcón Torrez

DEDICATORIA

A Dios el Creador de todo, por ser el pilar principal de todos los días, dándome fortalezas para salir adelante venciendo cada obstáculo del camino hacia el triunfo cumpliendo una de mis principales metas, llegar a ser un profesional.

A mis padres Pedro Álvaro Zeledón Arauz y a mi adorable Madre Mirna del Socorro Ballesteros Pineda por ser el motor principal en mi vida impulsándome con ayuda emocional y económica hasta donde estoy hoy en día, coronando mi primer título profesional, esto se lo debo a ellos, ya que, con sus sacrificios, consejos y apoyo incondicional, he triunfado. Los amo.

A mi hermano, William Antonio Herrera Ballesteros por apoyarme moral y económicamente. Gracias por estar conmigo desde el inicio de mi vida y hasta siempre, para mi ejemplo de superación a seguir.

A Mariana Fernanda Zeledón Arauz ya que es una persona muy especial en mi vida y que siempre estuvo en los momentos más difíciles, apoyándome de forma incondicional y dándome ánimos en todo este proceso de formación.

A mis tíos, primos, amigos, compañeros en general que de una forma u otra siempre están conmigo alentándome con sus consejos y apoyo para salir adelante logrando mis metas, gracias a todos.

Con mucho aprecio:

Aldin Ariel Zeledón Ballesteros

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios Señor de señores. Por darnos la vida, sabiduría, perseverancia, salud, concentración y los nuevos conocimientos adquiridos día a día y durante todo el tiempo de esta investigación científica, gracias por guiarnos y protegernos durante toda nuestra vida para que hoy estemos aquí concluyendo nuestra carrera.

A nuestros padres porque son los que más amor nos han demostrado mediante sus consejos, cuidados y enseñanzas. He aquí sus siembras dando cosechas, sintiéndonos orgullosos de tenerlos en nuestras vidas, sin ellos esto no hubiese sido posible. Muchas gracias.

A nuestros familiares, amigos, compañeros en general que de una u otra forma siempre están conmigo alentándome con sus consejos, apoyo incondicional para salir adelante logrando mis metas, gracias a todos.

Gracias a la Universidad Nacional Agraria en especial a la facultad de Ciencia Animal por habernos permitido forjar nuestros conocimientos que pudimos adquirir en todo el proceso de formación profesional. A la Lic. Damaris Mendieta encargada del laboratorio bromatológico donde se realizaron los análisis del experimento.

Gracias a todos nuestros estimados profesores el cual fueron el pilar fundamental durante el curso de aprendizaje. Dios los proteja siempre.

Nos sentimos muy orgullosos por haber sido sus alumnos y en cada lugar donde estemos ejerciendo alguna labor, siempre tendremos con nosotros un poco de cada uno de ustedes.

A nuestros asesores, Ing. Nadir Reyes Sánchez PhD, Lic. Rosario Rodríguez Pérez MSc e. Ing. Norlan Caldera MSc. Por su apoyo incondicional en este trabajo de graduación, compartiendo sus conocimientos y sabiduría, dedicando un poco de su valioso tiempo para la elaboración de este trabajo investigativo.

INDICE DE GRAFICAS

No.		Página
1	Temperatura ambiente y temperatura de fermentación de FES Moringa con y sin adición de Zeolita.	8
2	Comportamiento del pH de fermentación.	10
3	Comportamiento de humedad al inicio y al final del periodo de fermentación.	12
4	Contenido de Proteína Bruta de FES Moringa con adición de Zeolita.	14
5	Contenido de Proteína Bruta de FES Moringa con adición de Zeolita.	16

INDICE DE ANEXOS

No.		Página
1	Preparación de la Sacchamoringa	24
1.a	Pesaje de ingredientes solidos	24
1.b	Pesaje de ingredientes líquidos	24
1.c	Mezcla de ingredientes sólidos y líquidos para la elaboración de la Sacchamoringa	24
1.d	Mezcla de ingredientes sólidos y líquidos para la elaboración de la Sacchamoringa	25
2.e	Toma de datos de temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura de fermentación y pH	25
2.f	Toma de datos de temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura de fermentación y pH	25
2.g	Toma de muestra finales para realizar análisis bromatológico.	25

RESUMEN

Se estudió el efecto de adicionar Zeolita sobre la fermentación en estado sólido de Sacchamoringa como forma de mejorar su valor nutricional, utilizando un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y tres repeticiones. Los niveles de inclusión de Zeolita fueron: (T1) 0%, (T2) 1%, (T3) 2%. Las variables estudiadas fueron, Temperatura ambiente (TA), Temperatura de fermentación (TF), potencial de Hidrogeno (pH) y Humedad del sustrato (HS), análisis bromatológicos: proteína bruta (PB) y materia seca (MS). Los resultados obtenidos mostraron que la TA presento mayor variación a lo largo del día afectando más la FES Moringa. La TF fue más estable en el tratamiento de FES Moringa + 1% de Zeolita sin embargo la FES Moringa + 2% de Zeolita se vio afectada a las 20 h por la TA. El pH en las 36 h mantuvo un rango de 5.5 a 9, posterior a las 8 h FES Moringa presento mayor variación con respecto a las demás. La FES Moringa + 1% de Zeolita y FES Moringa + 2% de Zeolita incrementaron desde las 8 a 36 h. El contenido de humedad inicial oscilo entre 67.3% y 69.4 %, rangos recomendados y disminuyendo después de las 36 h a 63.3% y 61.3% con una valoración porcentual 4% a 8.1% respecto a la humedad inicial. El contenido de proteína bruta (PB) aumenta ($p < 0.05$) de 9.41% a 10.82%. La materia seca inicial fue de 32.7%, 29.4% y 30.6% y materia seca final de 36.7%, 37.1% y 38.7%, para T1, T2 y T3 respectivamente.

Palabras claves: Materia seca, *Saccharum officinarum*, Proteína bruta, *Moringa oleífera*, potencial de iones hidrogeno.

ABSTRACT

The effect of adding Zeolite over solid state fermentation of *Sacchamoringa* was studied as way to improve its nutritional value, using a completely randomized design (CRD) with three treatments and three repetitions. The inclusion levels of Zeolite were: (T1) 0%, (T2) 1%, (T3) 2%. The variables studied were: Environment temperature (ET), Fermentation Temperature (FT), Hydrogen potential (pH) and Moisture of the substrate (MS), bromatological analysis: Crude Protein (CP) and Dry Matter (DM). The results obtained showed that the ET presented greater variation throughout the day, affecting more the Moringa FES. The FT was more stable in the treatment of Moringa FES + 1% Zeolite; however, the Moringa FES + 2% Zeolite was affected at 20 h by the ET. The pH at 36 h maintained a range of 5.5 to 9, after 8 h FES Moringa showed greater variation with respect to the others. FES Moringa + 1% Zeolite and FES Moringa + 2% Zeolite increased from 8 to 36 h. The initial moisture content ranged between 67.3% and 69.4%, recommended ranges and decreasing after 36 h to 63.3% and 61.3% with a percentage valuation 4% to 8.1% with respect to the initial moisture. The crude protein content (CP) increases ($p < 0.05$) from 9.41% to 10.82%. The initial Dry Matter was 32.7%, 29.4% and 30.6% and final Dry Matter of 36.7%, 37.1% and 38.7%, for T1, T2 and T3 respectively.

Key words: Dry matter, *Saccharum officinarum*, Crude protein, *Moringa oleifera*, potential ion hydrogen.

I. INTRODUCCION

En Nicaragua como en los demás países tropicales de Centro América se presentan dos épocas climáticas: seca y lluviosa; siendo la época seca una de las principales limitantes en la producción de pastos y forrajes tanto en cantidad como en calidad de los mismos, expresando con resultados altamente negativos en las especies pecuaria de interés económico.

Una buena nutrición es indispensable para un buen funcionamiento, adecuado del sistema inmune y como consecuencia para el mantenimiento de animales saludables y productivos. Las tecnologías usadas en la nutrición animal han sido diversas. El conocimiento creciente sobre el metabolismo de los minerales, proteínas y energías, concepto en el que se basa la alimentación animal, revolucionaron la temática y aceleraron el desarrollo de nuevas tecnologías con la consecuente preocupación por la utilización eficiente de residuos de cosecha, la optimización de la fermentación ruminal para el mejoramiento de nutrientes deficientes y de baja calidad, así como la utilización de dietas balanceadas que no solo influyen en la producción animal si no en el equilibrio ambiental. El resultado de dietas no balanceadas implica exceso de nitrógeno, fosforo y otros nutrientes (Uffo, 2011).

Teniendo en cuenta que la alimentación representa el 80% de los costos totales de producción en granjas pecuarias es necesario buscar fuentes alternativas no convencionales de alimentación de buena calidad nutricional, que pueden ser utilizadas en dietas de los animales ya sea como materia prima para la elaboración de concentrado o como suplemento alimenticio que conlleven a mejorar la producción y productividad (Mejía, 2017).

La ganadería en Nicaragua, ya sea de leche, carne o doble propósito desarrollan una serie de sistemas de alimentación, sobre todo durante la época seca las cuales enfrentan de cierta manera los desafíos climáticos (Navarro, 2014). Para superar estos problemas se requieren tecnologías y estrategias que conduzcan a mejorar la disponibilidad de forrajes de buena calidad y a bajos costos durante la época seca. Se conocen algunas tecnologías de conservación y almacenamiento de forrajes, sin deteriorar su calidad, permite que el exceso

de forraje que se produce durante la época lluviosa pueda ser utilizado en la época y en momento más propicio (Reyes *et al.*, 2008).

La Saccharina es un producto obtenido por la fermentación de los tallos de la caña de azúcar desprovistos de las hojas, en este proceso se mejora el potencial nutricional de la caña de azúcar especialmente en su contenido proteico, el objetivo principal de su aplicación es sustituir un alto porcentaje de los cereales en la alimentación animal, en rumiantes se destaca un mejor comportamiento y en monogástricos se han obtenido buenos resultados, resalto la posibilidad de reemplazar hasta un 60% en los forrajes utilizados en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*) por Saccharina rustica (Vivas y Carbajal, 2004).

La fermentación en estado sólido (FES) se consolida como una alternativa para la alimentación animal, gracias a este proceso biotecnológico los residuos de cosecha y desechos agroindustriales se pueden convertir en alimentos energéticos proteicos, de alto valor nutricional que en un momento dado sustituyan total o parcialmente los alimentos balanceados que encarecen sensiblemente los costos de producción, haciendo cada vez más rentables las explotaciones pecuarias, es por eso que las FES, se convierten no solo en una alternativa económicamente viable si no ambientalmente sostenible (Barras y Torres, 2016).

Existen elementos que se pueden agregar en la fermentación en estado sólido como granos de (canavalia, sorgo, maíz), papa, cítricos y Zeolita.

Así mismo como la zeolita que son minerales que tienen estructuras de arcillas y funcionan químicamente como intercambiadores de iones. Estas Zeolitas pueden atrapar el NNP de la urea, y luego lo expulsan gradualmente. De modo que los microorganismos presentes durante el proceso de FES lo puedan utilizar de manera más eficiente para la síntesis de proteína microbiana (Aranda, *et al.*, 2012).

Autores han señalado que estos beneficios se deben que las Zeolitas estimulan el crecimiento de bacterias y enzimas activando sus procesos fermentativos, así como también facilitando la digestibilidad del alimento, mejora la absorción de los productos finales de la hidrólisis de las proteínas y reduce la producción amoniacal tóxica en el sistema digestivo del animal (CIDEA-UCA, 2002).

Por lo anterior, el objetivo de este estudio es evaluar el efecto de los diferentes niveles de inclusión de zeolita sobre el proceso de fermentación en estado sólido de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), con el fin de obtener un alimento energético-proteico, de bajo costo, mejorando el valor nutricional de la caña de azúcar.

II. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

Evaluar el efecto de la inclusión de niveles crecientes de zeolita sobre el proceso fermentativo en estado sólido de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y Marango (*Moringa oleífera*).

2.2.Objetivos específicos

1. Valorar el efecto de dos niveles de inclusión de Zeolita (1% y 2%) como aditivo en el proceso de fermentación en estado sólido de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y Marango (*Moringa oleífera*) sobre los indicadores fermentativos (temperatura de fermentación y pH).
2. Analizar el contenido de Materia seca (MS) y Proteína bruta (PB) de Sacchamoringa con inclusión de Zeolita.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del área experimental

El estudio se realizó en la finca Santa Rosa propiedad de la Universidad Nacional Agraria (UNA), Managua, Nicaragua, localizada al norte de la comunidad de Sabana Grande, entre las coordenadas geográficas 12°08'15'' de latitud Norte y 86°09'36'' longitud oeste. Con una elevación de 56 m.s.n.m. las coordenadas climáticas corresponden a una zona ecológica de bosque tropical seco. La temperatura media anual es de 26.9°C, la precipitación histórica es de 1119.8 mm anuales y humedad relativa del 72% (INETER, 2015).

3.2. Material vegetativo utilizado

3.2.1. Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)

La materia prima utilizada en el experimento consistió en tallos de caña de azúcar obtenido de una parcela de la finca Santa Rosa con una edad comprendida de 10 meses. El material fue desprovisto de cogollos y hojas el cual se fracciono en una picadora estacionaria, para obtener un material con tamaño de partícula de 2-3 cm.

3.2.2. Marango (*Moringa oleífera*)

Se recolecto el follaje fresco de Marango (*Moringa oleífera*) de varias plantaciones de producción de la finca Santa Rosa el material recolectado tenía una edad aproximada de 40-60 días para asegurar la misma se realizó un corte de uniformidad 45 días previos al inicio de la elaboración de la Sacchamoringa.

3.3. Obtención de la Sacchamoringa rustica

El material picado se extendió sobre plástico negro (calibre 100) colocado sobre una superficie plana distribuyendo el material en capas de 5-6 cm. Se aplicó sobre el material picado sal minero-vitamínico y urea, sulfato de amonio, melaza y follaje fresco de Marango (*Moringa oleífera*), semolina, y *Saccharomyces cerevisiae*, distribuyendo los materiales de manera uniforme sobre el material picado. Inmediatamente se mezcló todo el material y se extendió nuevamente en una capa de 5-6 cm, y dejando reposar con espacio de 36 h,

mezclando el material cada 4 h para mejorar el proceso fermentativo. Esta mezcla fue dividida en tres partes iguales.

3.3.1. Obtención de Sacchamoringa con adición de Zeolita

Se procedió a elaborar la mezcla de igual forma que se obtuvo la saccharina rustica, esta mezcla fue dividida en dos partes a una de ellas se adiciono zeolita al 1% y a la otra zeolita al 2%. Ambas mezclas se subdividieron en tres partes iguales.

3.4. Toma de datos

Cada 4 h se tomaron datos de temperatura ambiente con un higrómetro ambiental chaney (ACUARITE), para medir la temperatura de fermentación y pH de cada repetición por tratamiento se utilizó un pHmetro portátil (Ph56 MARTINI 0,01pH®).

3.5. Tratamientos en estudio

El experimento se conformó por tres tratamientos los cuales se describen a continuación.

- **Tratamiento 1 o FES Moringa:** caña de azúcar + Follaje fresco de *Moringa oleifera* + semolina +melaza + urea + sulfato de amonio + sales minero vitamínica + *Saccharomices cereviciae*.
- **Tratamiento 2 o FES Moringa + zeolita al 1%:** caña de azúcar + Follaje fresco de *Moringa oleifera* + semolina +melaza + urea + sulfato de amonio + sales minero vitamínica + *Saccharomices cereviciae* + 1% zeolita.
- **Tratamiento 3 o FES Moringa + zeolita al 2%:** caña de azúcar + Follaje fresco de *Moringa oleifera* + semolina +melaza + urea + sulfato de amonio + sales minero vitamínica + *Saccharomices cereviciae* + 2% zeolita.

3.6. Manejo del experimento

Los tratamientos fueron ubicados en la galera experimental de la finca Santa Rosa ya que esta consta con las condiciones adecuadas (piso de concreto, energía eléctrica, agua potable entre otras), las cuales facilitaron realizar las actividades del experimento.

La etapa experimental se realizó con tres tratamientos con tres repeticiones cada uno, a los cuales se monitorearon durante un periodo de 36 h, para lograr una adecuada fermentación, tiempo en el que se tomó mediciones de pH, temperatura de fermentación y temperatura ambiente cada 4 h.

Al inicio del experimento por cada tratamiento se tomaron muestras iniciales homogenizadas de 250-300 g aproximadamente, las cuales fueron almacenadas en bolsas papel kraft y se enviaron al laboratorio para realizar sus respectivos análisis bromatológicos.

Después de haber transcurrido las 36 h estipuladas del proceso de fermentación se tomaron muestras finales de cada una de las repeticiones por tratamiento con un peso aproximado de 250-300 g. estas fueron enviadas al laboratorio de bromatología para determinar, MS, y proteína bruta.

3.7. Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento.

A los datos se les realizó análisis de varianza (ANDEVA) para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables estudiadas usando el Modelo Lineal General (GLM) por el procedimiento del Software Minitab statistical Versión 16.2.4.4 (Minitab®, 2013). Cuando existieron diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos se utilizó el procedimiento de comparación de medias del procedimiento de Tukey.

3.8. El modelo aditivo lineal (MAL)

El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij}: \mu + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : representa la j-ésima observaciones del i-ésimo tratamiento

μ : representa la media poblacional

T_i : efecto del i-ésimo tratamiento

E_{ij} : representa el error aleatorio

3.9. Variables evaluadas

A. Indicadores fermentativos (a nivel de campo):

- Temperatura de fermentación
- pH
- Humedad del sustrato
- Temperatura ambiente

B. Composición química (laboratorio)

- Materia Seca
- Proteína Bruta

3.9.1. Descripción de las variables

3.9.1.1. Temperatura de fermentación y pH

Se hizo uso de un pHmetro portátil (pH56 MARTINI 0,01pH®), el cual permitió medir tanto el valor de pH de la muestra como su temperatura. Para una correcta lectura se introdujo a una profundidad de 2-3 cm dentro de cada repetición.

3.9.1.2. Humedad del sustrato

Se tomaron muestras al inicio del proceso y al final con el fin de conocer el comportamiento de la humedad durante el proceso de fermentación. Para la determinación de esto se llevaron al horno para el secado de las muestras y así por diferencia obtener el cálculo de humedad.

3.9.1.3. Temperatura ambiente (°C)

Se determinó a través de un medidor de humedad y temperatura “Chaney (ACUARITE®), el cual se colocó entre los tratamientos a 5 cm del nivel del suelo.

3.9.1.4. El contenido de MS y PB

Cada una de las muestras se analizó siguiendo el procedimiento descritos por AOAC (1990) según se describen a continuación.

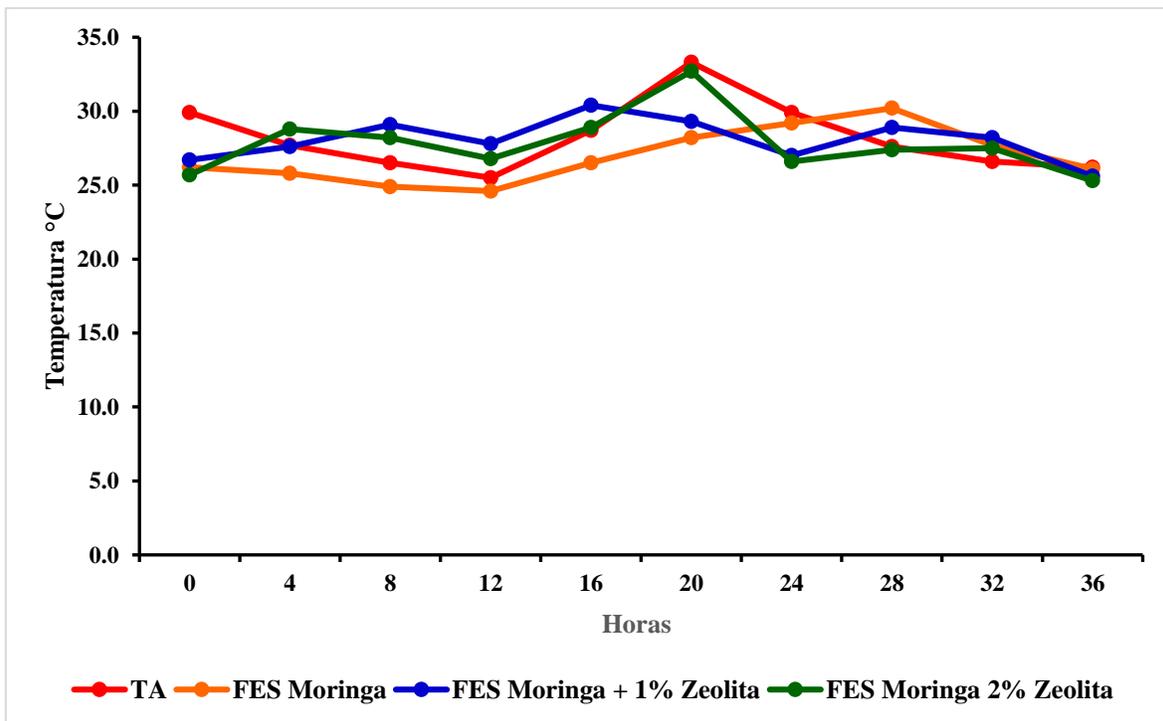
Las muestras fueron secadas, molidas y almacenadas en recipientes de vidrio para posteriores análisis químicos. La MS fue analizada según el procedimiento de la AOAC (1990). La concentración de nitrógeno total se determinó utilizando el método de Kjeldahl (AOAC, 1984) y la concentración de Proteína Bruta calculada mediante la siguiente fórmula: $PB = \% \text{ de nitrógeno total} * 6.25$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Indicadores FES y bromatológicos de la caña de azúcar con diferentes niveles de inclusión de Zeolita.

4.1.1. Temperatura ambiente y temperatura de fermentación.

En la gráfica 1 se refleja el efecto de la temperatura ambiente sobre la temperatura de fermentación de la FES Moringa, FES Moringa + zeolita al 1%, FES Moringa + zeolita al 2% de inclusión. Durante las 36 h de fermentación, la temperatura de fermentación de FES Moringa presento mayor variación respecto a la temperatura ambiental, así en las primeras 24 h la temperatura de fermentación fue inferior a la temperatura ambiental (TA), incrementándose, entre las 24 a 36 h por encima de la TA; en cambio la FES Moringa a la que se les adiciono zeolita al 1% mantuvo un comportamiento más estable durante las 36 h no viéndose afectada por las variaciones de la TA; sin embargo, la FES Moringa + zeolita al 2% se vio afectada a las 20 h por la TA estabilizándose nuevamente a partir de las 24 h.



Grafica 1. Temperatura ambiente y temperatura de fermentación de FES Moringa con y sin adición de Zeolita

El estudio realizado por Castillo y Ruiz (2013), manifiestan que la temperatura de fermentación óptima depende de los microorganismos que se deseen desarrollar en el proceso, generalmente el óptimo se ubica entre 20°C a 40°C, aunque se puede llegar a obtener un máximo de 50° C, a esta temperatura se corre el riesgo de que los microorganismos se vuelvan lentos e ineficientes, En este sentido, las temperaturas de fermentación obtenidas en el presente estudio para los diferentes tratamientos se ubican en el rango óptimo reportado por los autores anteriormente mencionados.

En la gráfica 1 se observa que entre las 12 y las 28 h de fermentación hay un incremento de la temperatura interna del sustrato de la FES Moringa sin adición de zeolita con relación a la temperatura ambiente, esto puede ser explicado por Berradre *et al.* (2009), Quienes mencionan que el calor acumulado en el sustrato fermentado provoca un incremento de la temperatura de fermentación y que es el resultado de la actividad metabólica de los microorganismos en un proceso aeróbico, determinado por el calor involucrado en las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo que además puede ser afectada por la conductividad del material biológico fermentado.

Fajardo y Sarmiento (2007), demuestran que las levaduras crecen en temperaturas con un rango de 25-30° C.

La temperatura es la variable cuyo control, en una fermentación solida se considera el más crítico debido a la alta concentración de sustrato por unidad de volumen y a la baja conductividad térmica del sistema heterogéneo solido-liquido-gas lo que favorece la acumulación de calor metabólico en el sistema y un aumento de la temperatura del cultivo (León, 2008).

4.1.2. pH de fermentación

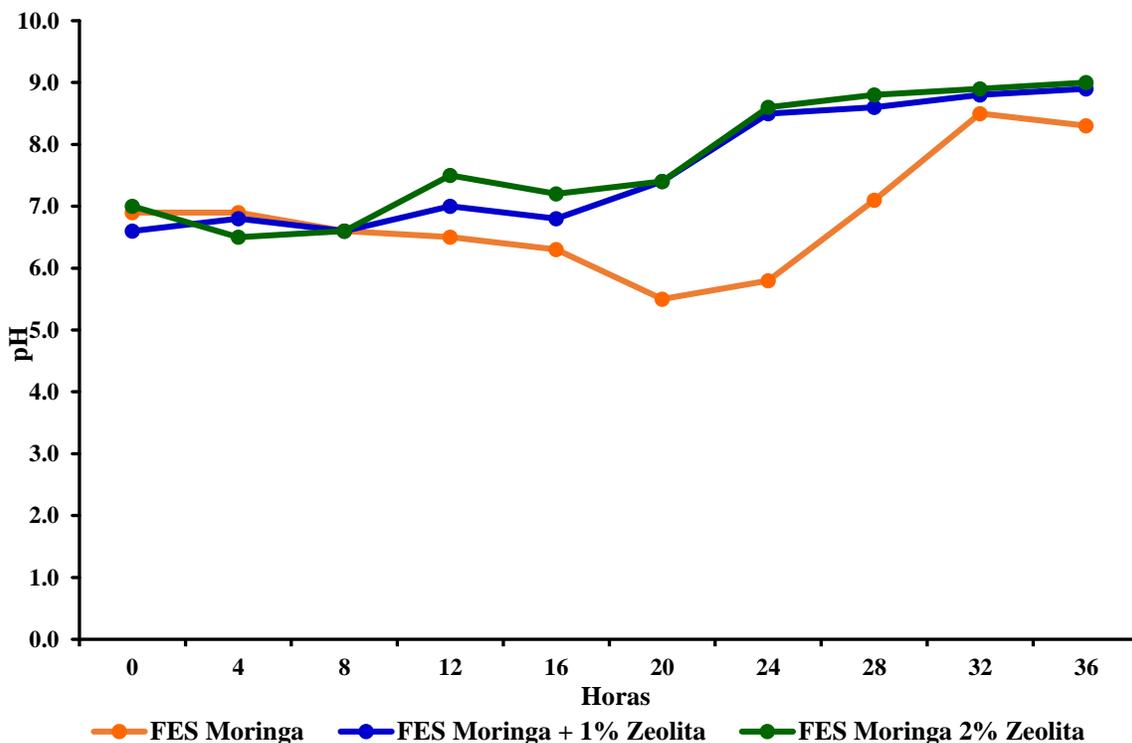
El comportamiento del pH en el proceso de obtención de la FES moringa sufre una disminución en las primeras horas de fermentación debido a la producción de ácidos orgánicos, y su posterior incremento se explica por perdidas de ácidos orgánicos y

liberación de amoníaco por efecto de la composición microbiana de bacterias que hidrolizan la urea y liberan NH_3 al medio (Berradre *et al.*, 2009).

El pH es uno de los factores más importante en los procesos de fermentación en donde cada microorganismo posee un rango de pH para su crecimiento y actividad con un valor óptimo dentro del rango. Normalmente los hongos tienen un mejor crecimiento en sustrato con un rango de pH de 3.5-6, las levaduras entre 4.5-7 y las bacterias un poco más arriba que las levaduras sin que esto pueda ser tomado como una regla (Caraveo, 2008).

En la gráfica 2 se observa que el pH en el proceso de FES durante las 36 h se mantuvo en un rango de 5.5 y 9. Por su parte Espinoza y Montiel (2016) y Mejía (2017), encontraron valores similares de 5.5 y 8.8 en estudios realizados de FES moringa por la cual se puede afirmar que en el presente estudio el pH se encuentra en los rangos óptimos para el crecimiento de los microorganismos.

Así mismo el comportamiento del pH posterior a las 8 h FES Moringa presentó mayor variación, disminuyendo el pH con respecto a los tratamientos con zeolita al 1 y 2%. Incrementándose hacia las 20 y 32 h. Los tratamientos 2 y 3 incrementaron el pH desde las 8 h a las 36 h y se mantuvieron similares durante todo el periodo de fermentación demostrando así que la Zeolita tuvo un efecto de estabilizador del pH. Por su parte Caraveo, (2008) explica que por la liberación de amonio debido a la desaminación de la urea u otras aminos que puede incrementar el pH, la magnitud del cambio del pH, dependerá de la actividad metabólica de los microorganismos y de la capacidad amortiguadora del sustrato.



Grafica 2. Comportamiento del pH de fermentación

Es primordial señalar que los incrementos de pH coinciden con el incremento del NH_3 y con una mayor cantidad de levaduras, al parecer, la disponibilidad de NH_3 en el sustrato, puede llegar a facilitar el desarrollo de las levaduras. Las levaduras son capaces de captar NH_3 produciendo como resultado proteína unicelular (Calderón *et al.*, 2005 citado por Espinoza y Montiel, 2016).

El pH es otra variable que afecta el desarrollo de los procesos de fermentación en estado sólido. Por otra parte, el mezclado de sólido es un proceso complejo por lo cual se dificulta el control de esta variable durante el proceso de fermentación. El pH cambia por diferentes razones, normalmente disminuye por la secreción de ácidos orgánicos como acéticos y lácticos durante el proceso (León, 2008).

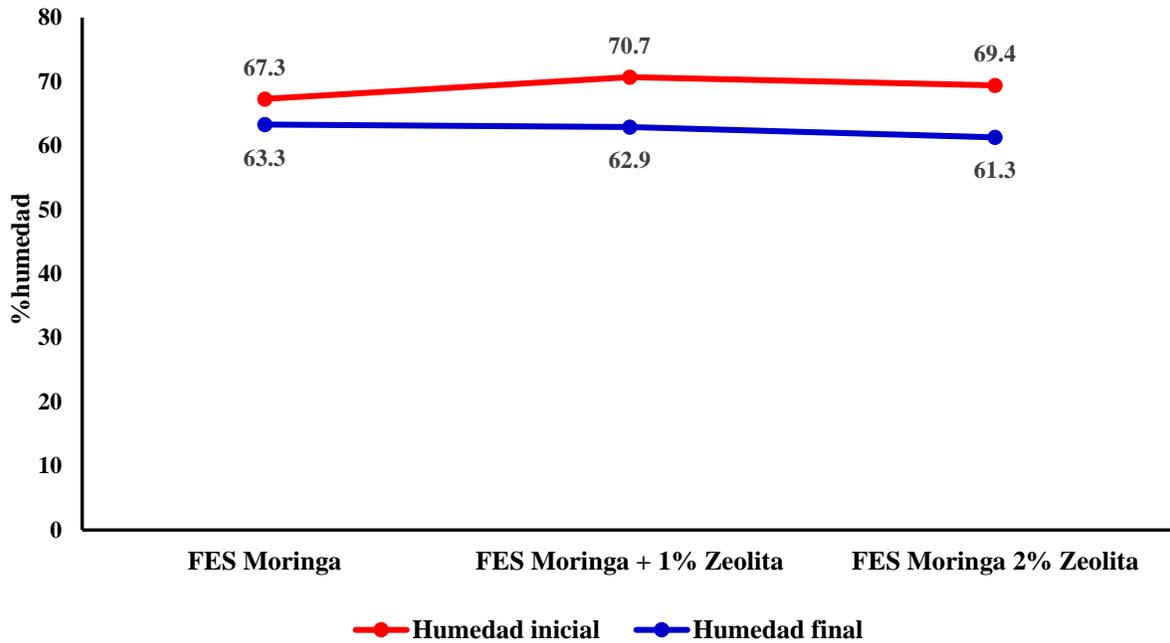
El pH óptimo en el cual se desarrollan los microorganismos esta entre un pH de 4 y 5. Las levaduras tienen las ventajas de soportar medios más ácidos que otros microorganismos (Suarez, *et al.*, 2016).

4.1.3. Humedad del sustrato

Es el factor más decisivo sobre la fermentación en estado sólido, el nivel adecuado es función de la naturaleza del sustrato, el tipo de producto final y los requerimientos de los microorganismos. Los micro hongos son los microorganismos más adecuados, en función de sus bajos requerimientos de actividad de agua, para desarrollarse sobre sistema en estado sólido. Generalmente el contenido inicial en humedad del sustrato oscila entre el 30 y el 75 %. Durante el curso de las fermentaciones se ocasionan reducciones de este nivel debido tanto a pérdidas por evaporación y como a la propia actividad metabólica de los microorganismos (Pastrana, 1996).

La importancia del agua en el sistema es debido al hecho que la mayoría de las células viables se caracterizan por su contenido de humedad del 70 al 80%. En el caso de bacterias la humedad en el material deberá tener más del 70%. Para las levaduras el rango puede ser más amplio entre 60 y 70% y para los hongos de 20 a 70% (Becerra, 2006).

Como se aprecia en la gráfica 3, el contenido de humedad inicial del proceso de FES osciló entre 67.3% y 69.4% para los tres tratamientos, encontrándose entre los rangos recomendados. Por su parte Moyano, (2014) recomienda de 30% y 75%, para proporcionar un medio de cultivo ideal para el desarrollo de las levaduras *Saccharomyces cerevisiae*.



Grafica 3. Comportamiento de humedad al inicio y al final del periodo de fermentación

La humedad final después de las 36 h disminuyó a valores de 63.3% y 61.3% con una variación porcentual de 4% a 8.1% respecto a la humedad inicial esto debido al tiempo transcurrido durante la fermentación, así como la radiación solar y las elevadas temperaturas en las horas del día.

Moyano (2014), plantea que durante el proceso de la fermentación ocurre reducción del nivel de humedad del sustrato debido tanto a pérdidas por evaporación como a la propia actividad metabólica de los microorganismos, esto permite explicar que la leve reducción de humedad del sustrato en el producto final después de las 36 h de fermentación ocurrido en este estudio.

El papel del agua en los procesos FES es muy variado, al ser el componente principal de la biomasa, sirviendo como fase para difusión de las enzimas y los nutrientes, al mismo tiempo que permite el intercambio gaseoso. Una elevada en el sustrato (>60%), causa una disminución de la capacidad de acción de los poros del sustrato dificultando la difusión de oxígeno y al tener una baja humedad (<30%) no permite el crecimiento de los microorganismos (Ferrer, *et al.*, 2014).

Tiene una participación muy importante en la actividad microbiana, al ser el factor clave para permitir el tipo de microorganismo a desarrollarse en dicho sustrato. El control de este parámetro se puede usar para modificar la producción metabólica de los microorganismos.

4.1.4. Contenido de Proteína Bruta (PB)

El proceso de FES permite incrementar significativamente el contenido de proteína bruta del tallo de la caña de azúcar adicionándole NNP (urea y sulfato de amonio), follaje fresco de *Moringa oleífera* (FFMO) y levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) de 2.3% a 10.82% de PB en el producto final obtenido (grafica 4).

Para la variable proteína bruta no se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos FES Moringa con 0% de Zeolita (9.41% PB) y FES Moringa con 1% de Zeolita (9.58% PB), pero si se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto al tratamiento FES Moringa con 2% Zeolita (10.82% PB).

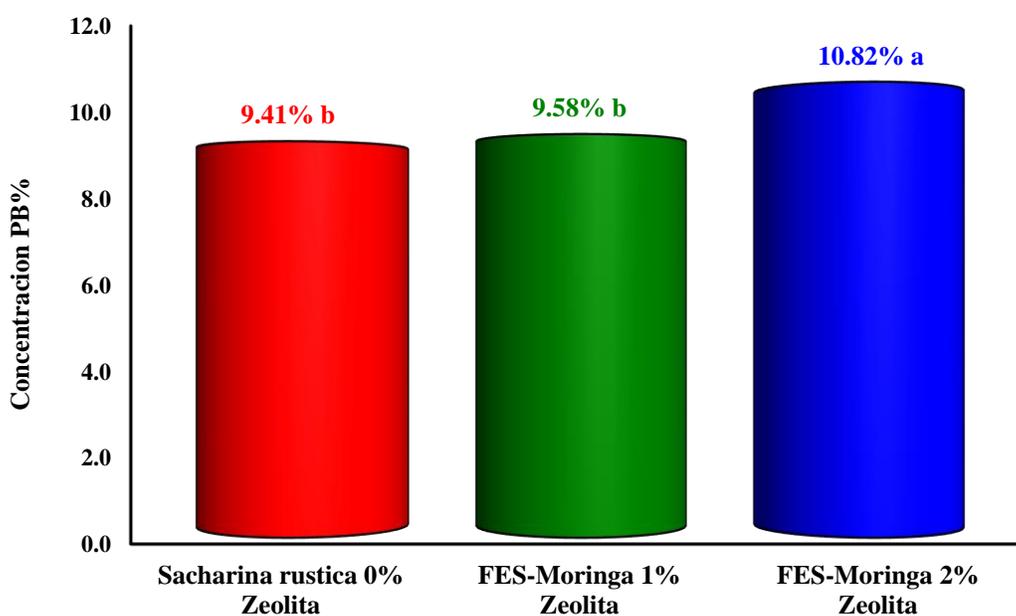
Aranda *et al.* (2012), en estudios realizados en la elaboración de un alimento basado en caña de azúcar a partir de la fermentación en estado sólido y con diferentes niveles de Zeolita, encontraron a las 24 h de fermentación un incremento en el contenido de proteína de 16 y 21% con respecto a la hora de iniciado el proceso. En cambio, a las 48 h el contenido de proteína bruta disminuyo en los tratamientos estudiados.

Los resultados obtenidos en los tratamientos en estudio son inferiores a los reportados por el autor antes mencionado, con 10.82 % PB a las 36 h de fermentación, sin embargo, esto se atribuye a la volatilización del NNP de la urea en forma de amoniaco en el cual dicho autor hace referencia.

Es importante destacar que la diferencia encontrada entre los resultados del presente estudio puede ser debido a que en el experimento anterior utilizaron un producto comercial (vitafer), según Caraveo 2008, este producto aumenta el porcentaje de proteína bruta y población microbiana.

Durante el proceso de fermentación en estado sólido, los microorganismos presentes en los tallos de la caña de azúcar utilizan los carbohidratos solubles como fuente de energía para convertir, mediante reacciones metabólicas el nitrógeno no proteico (NNP) presente en la urea en nitrógeno proteico (NP).

Pedraza (1999), en estudio realizado sobre bagazo rico en proteína (Bagarip) obtenido por la fermentación en estado sólido demuestra resultados de 5% y 10% de Proteína la cual permite sustituir los alimentos tradicionales.



Grafica 4. Contenido de Proteína Bruta de FES Moringa con adición de Zeolita

4.1.5. Contenido de Materia seca (MS)

El método más utilizado para la determinación de MS es el de la eliminación del agua libre por medio del calor siendo necesario someter las muestras a temperaturas que aseguren un secado rápido para eliminar pérdidas por acción enzimática y respiración celular (Batteman, 1970, citado por De la Rosa, *et al.*, 2002).

Como se observa en la gráfica 5 los valores de materia seca al inicio del experimento fueron menores ya que el sustrato contenía mayor humedad debido al adicionar agua, melaza y la humedad que contenía el material de follaje fresco de *Moringa oleífera* y la caña de azúcar. Por el contrario, la materia seca al final del ensayo presento un porcentaje mayor debido a la aireación que se le dio al sustrato durante las 36 h del periodo de fermentación. Los valores de materia seca al inicio fueron de 32.7%, 29.3% y 30.6% para T1, T2 y T3 respectivamente; de igual manera los valores de la materia seca al final del ensayo para T1, T2 y T3 fueron de 36.7%, 37.1% y 38.7% de forma respectiva.

Estudio realizado por Moyano (2014) sobre la fermentación en estado sólido de la papa encontró valores de MS de 17.7% y 84.1% de humedad lo que puede atribuirse a la adición de microorganismos eficientes en estado líquido y la urea diluida en agua.

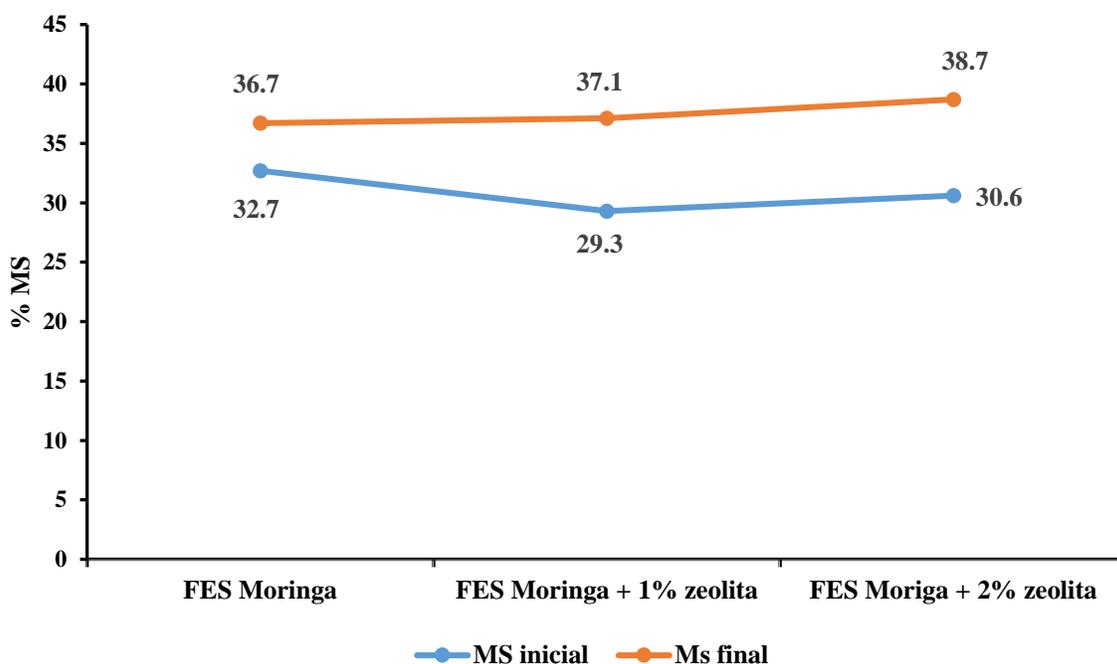
Barras *et al.*, (2014), mencionan que la disminución de MS de los diferentes alimentos al inicio de la fermentación con respecto a la calculada está relacionada con la adición de agua al sistema al diluir la urea. Así mismo con el transcurso del tiempo se empieza a liberar una mayor cantidad de agua por los procesos metabólicos desarrollados por los microorganismos, esta adición provoca una reducción de humedad en el tiempo durante procesos de FES producto de la utilización de azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa).

Parte del agua producida durante la hidrólisis y la oxidación de las moléculas pudiera evaporarse por el calor metabólico que se genera durante el proceso de FES, Barras *et al.* (2014). Esto coincide con el comportamiento evaluado de la MS a las 36 h de fermentación 36.7%, 37.1% y 38.7%, este comportamiento, como se explicó anteriormente se puede

atribuir a que en el transcurso del tiempo de fermentación se empieza a liberar una mayor cantidad de agua por los procesos metabólicos desarrollados por los microorganismos.

Ramos *et al.* (2015), al evaluar un alimento elaborado con caña de azúcar y pollinaza por fermentación en estado sólido, el contenido de MS fue significativo, en la cual hace referencia que a mayor tiempo fermentación aumenta en contenido de materia seca, obteniendo valores de 36.05%, 38.31%, 42.39%, 54.56%, 63.74% siendo estos valores superiores a los del presente estudio.

Estudio realizado por Aranda *et al.* (2012) sobre fermentación en estado sólido con inclusión de Zeolita obtuvieron valores de MS con 36.2%, 36.2%, 36.6% y 36.7%, siendo estos muy similares a los del presente estudio.



Grafica 5. Contenido de materia seca de cada uno de los tratamientos en estudio.

V. CONCLUSION

La temperatura de fermentación no se vio afectada por la inclusión de zeolita. El pH se vio influenciado de forma positiva en los tratamientos que se le adiciono zeolita manteniendo estable el pH durante el proceso de fermentación en comparación al tratamiento con 0% de inclusión de zeolita.

En relación a la materia seca esta fue mayor para los tratamientos que se les adiciono zeolita. El contenido de proteína se mejoró con la adición de zeolita siendo el tratamiento tres (2% zeolita) el que presento mayor contenido de proteína, seguido del tratamiento con 1% de inclusión de zeolita.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar estudios con niveles superiores al 2% de inclusión de Zeolita y ver su efecto sobre la fermentación en estado sólido en diferentes sustratos.

Realizar análisis bromatológicos completos y pruebas de digestibilidad con el fin de conocer su valor nutritivo y su efecto en el comportamiento productivo en los animales.

VII. LITERATURA CITADA

AOAC. (1990). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 20th Edition.

Recuperado de:

http://www.aoac.org/aoac_prod_imis/aoac/publications/official_methods_of_analysis/aoac_member/pubs/oma/aoac_official_methods_of_analysis.aspx?hkey=5142c478-ab50-4856-8939-a7a491756f48

Aranda E. M., Georgana L. E., Ramos J. A., y Salgado S. (2012). Elaboración de un alimento basado en caña de azúcar a partir de la fermentación en estado sólido y con diferentes niveles de zeolitas. Universidad Popular de Chontalpa. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. Cárdenas, Tabasco, México Tomo 46 (2). p.159. Recuperado de: <http://www.ciencia-animal.org/revista-cubana-de-ciencia-agricola/articulos/T46-N2-A2012-P159-EM-Aranda.pdf>

Barras Sandoval, L.M., y Torres Vidales, G. (2016). Producción de alimentos para animales a través de fermentación en estado sólido – FES. *GIDIMEVEZ*. Vol 20(2). p.4. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v20n2/v20n2a07.pdf>

Barras Sandobal, L.M., Iglesias, A.E y Moyano Bautista, M. A. (2014). Effect of temperature and time on indicators of potato (*Solanum tuberosum*), fermented in solid estate. *Ciencia de Agricultura*. Vol.11 (2) pp.31-38.

Becerra, BA. (2006). Aprovechamiento de Subproductos de Manzana Mediante la Producción de Proteína Microbiana con Fermentación en Estado Sólido para la Alimentación Animal. Disertación Doctoral. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, MX

Berradre, M., Mejía, M., Ferrer, J., Chandler, C., Páez, G., Marmol, Z... Fernández, V. (2009). Fermentación en estado sólido del desecho generado en la industria vinícola. *Revista de la Facultad Agronómica*. Vol 26 (3). Recuperado de: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182009000300006

Caraveo R, A.C. (2008). Efectos de los niveles de urea en la caña fermentada con pulidura de arroz (Sacchapulido), Colegio de postgraduados, Institución de Enseñanzas de Ciencias Agrícola, Campus Tabasco, Programa de producción Agro alimentaria en el trópico. Tabasco MX, 54 Recuperado de: <http://www.remeri.org.mx/tesis/INDIXE-TEISIS.jsp?search=colpos&ind=1026&step=25&order=6&asc=0>

Castillo Castillo, Y., y Ruiz Barrera, O. (2013). Fermentación en estado sólido (fes) de subproductos agroindustriales como alternativa para obtener alimento animal. Universidad Autónoma de Ciudad de Juárez. Alternativas de cadena de valor. Primer congreso internacional AGRTOMERCA. (1^{ra}. Ed.). Ciudad de Juárez. Chihuahua-México. pp.55. Recuperado de: <http://www.uacj.mx/DGDCDC/SP/Documents/Documents/Octubre%202013/Memorias%20Agromercaok.pdf>

CIDEA-UCA. (2002). Efecto del mineral natural Zeolita (clinoptiloita) en niveles de inclusión del 5 y 10% en alimentos peletizados para camarones juveniles *Litopenaeus vannamei*, sobre el crecimiento y conversión alimenticia. pp 12. Managua-Nicaragua: Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos. Recuperado de: http://repositorio.uca.edu.ni/2688/1/2002_efecto%20del%20mineral%20natural%20Zeolita%20%28clinoptilolita%29....pdf

León, C. (2008). *Producción y cuantificación de un antibiótico por electroforesis capilar*. (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional. Mexico DF. Recuperado de: <http://tesis.ipn.mx:8080/bitstream/handle/123456789/14528/ClaudiaLeon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

De la Rosa Delgado, B., Martínez Fernández, A y Argamenteria Gutierrez, A. (2002). Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis: Área de nutrición pastos y forrajes. (pp. 91- 104). España. Recuperado de: <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1308/1312>

- Espinoza Gonzales, J. J y Montiel Fernández, J. A. (2016) *Fermentación en estado sólido de Saccharum officinarum con diferentes niveles de inclusión de follaje fresco de Moringa oleífera* (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional Agraria. Managua, 2016. Recuperado de: <http://repositorio.una.edu.ni/3353/1/tnq52e77.pdf>
- Fajardo Castillo E.E., y Sarmiento Forero S.C. (2007). *Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de Saccharomyces cerevisiae*. (Tesis de pregrado). Pontificia universidad Javeriana. Bogotá-D.C Recuperado de: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis26.pdf>
- Ferrer G, J. R., Machado J. L., y Brieva J. (2014). Fermentación en estado sólido: Una alternativa biotecnológica para el aprovechamiento de desechos agroindustriales. Revista tecnocientífica URU. No 7. Recuperado de: <http://200.35.84.134/ojs-2.4.2/index.php/rtcu/article/viewFile/233/230>
- INETER. (2015). *Instituto Nicaragüense de estudios territoriales. Estación meteorológica del aeropuerto Augusto Cesar Sandino*, INETER, Managua, Nicaragua. Recuperado de: <http://www.ineter.gob.ni/>
- Mejía Tinoco, W. A. (2017). Fermentación en estado sólido de *Saccharum officinarum* con follaje de *Moringa oleífera* para alimentación porcina. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Agraria. Managua-Nicaragua.
- Moyano Bautista, M. A. (2014). *Fermentación en estado sólido (fes) de la papa (solanum tuberosum), como alternativa tecnológica para la alimentación animal*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Tunja. Recuperado de: <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/2545/1/2014-06.pdf>

- Navarro Iglesias, J.P. (2014). *Alternativas de alimentación bovina implementados en época seca, en el municipio de palacagüina, madriz, 2014*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria. Managua-Nicaragua. Recuperado de:
<http://repositorio.una.edu.ni/2747/1/tnl02n322.pdf>
- Pastrana L. (1996). Fundamentos de la fermentación en estado sólido y aplicación a la industria alimentaria. Reynosa-México. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 1(3). Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/724/72410301.pdf>
- Ramos Juarez, J.A., Aranda Ibañez, E.M., Salgado García, S y Arias López, F.T. (2015). *EVALUACIÓN DE ALIMENTOS ELABORADOS CON CAÑA DE AZÚCAR Y POLLINAZA POR FERMENTACIÓN EN ESTADO SOLIDO*. (Tesis de posgrado). Colegio de Postgraduados, Tabasco, México. Recuperado de:
<https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/2-DIVERSIFICACION-2015.pdf>
- Reyes, N., Mendieta B., Fariñas T., y Mena M. (2008). *Guía de suplementación alimenticia estratégica para bovinos en época seca*. (Guía técnica N° 12). Managua: Universidad Nacional Agraria. Recuperado de:
<http://repositorio.una.edu.ni/2417/1/RENLO2G943.pdf>
- Suárez Machín, C., Garrido Carralero, N. A., y Guevara, Rodríguez, C. A. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. Habana, Cuba. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Vol. 50(1) p.20-21. Recuperado de:
<http://www.redalyc.org/pdf/2231/223148420004.pdf>
- Uffo, O. (2011). Producción animal y biotecnologías pecuarias. *Rev salud anim*. La Habana. Vol 33 (1). p. 9-10. Recuperado de:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2011000100002

Vivas N. J., y Carbajal J. (2004). Saccharina rustica una aplicación biotecnológica para la alimentación animal. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cauca. Vol 2, No 1. Cauca, p. 44. Recuperado de:
[http://nutriciondebovinos.com.ar/MD_upload/nutriciondebovinos_com_ar/Archivos/File/SSACCHARINA_RUSTICA_UNA_APLICACION_BIOTECNOLOGICA_PARA_LA_ALIMENTACION_ANIMAL_\(ICA\).pdf](http://nutriciondebovinos.com.ar/MD_upload/nutriciondebovinos_com_ar/Archivos/File/SSACCHARINA_RUSTICA_UNA_APLICACION_BIOTECNOLOGICA_PARA_LA_ALIMENTACION_ANIMAL_(ICA).pdf)

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Preparación de la Sacchamoringa



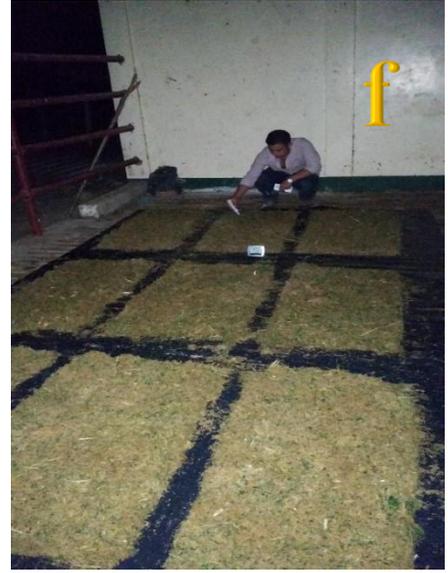
a) Pesaje de ingredientes solidos



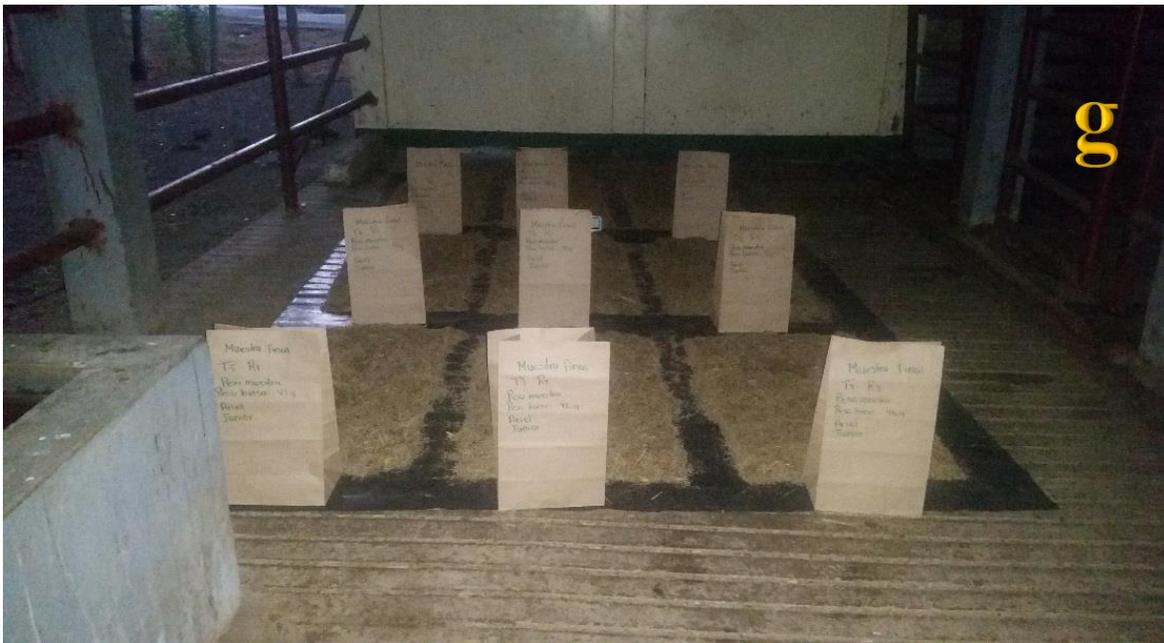
b) Pesaje de ingredientes líquidos



c y d) Mezcla de ingredientes sólidos y líquidos para la elaboración de la Sacchamoringa



e y f) Toma de datos de temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura de fermentación y pH



g) Toma de muestra finales para realizar análisis bromatológico.