



"Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible"

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL**

DEPARTAMENTO SISTEMAS INTEGRALES DE PRODUCCION ANIMAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Fermentación en estado sólido de *Saccharum officinarum* con
diferentes niveles de inclusión de follaje fresco de *Moringa oleifera*
Managua, 2016.**

AUTORES

Br. Junior Jasir Espinoza Gonzales
Br. José Aníbal Montiel Fernández

ASESORES

PhD. Nadir Reyes Sánchez
Ing. Wendell Mejía Tinoco

Managua, Nicaragua, Abril, 2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL**

APROBACIÓN 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 parcial para optar al título profesional de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR:

MSc. Rosario Rodríguez Pérez
Presidente

Ing. Josué D. Rocha Espinoza
Secretario

Ing. Marcos A. Jiménez Campos
Vocal

Sustentantes:

Br. Junior Jasir Espinoza González

Br. José Aníbal Montiel Fernández

Managua, Nicaragua, Abril, 2016.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenidos	paginas
Dedicatoria	i,ii
Agradecimientos	iii
Índice de cuadros	iv
Índice de figuras	v
Indice de Anexos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo General	2
2.2 Objetivos Específicos	2
III. MATERIALES Y MÉTODOS	3
3.1 Localización del experimento	3
3.2 Descripción del experimento	3
3.3 Preparación de los tratamientos en estudio	3
3.3.1 Preparación de la FES-Moringa	4
3.4 Manejo del experimento	4
3.5 Análisis químicos	4
3.6 Diseño experimental y análisis estadístico	5
3.7 Variables evaluadas	5
3.8 Descripción de las variables	6
3.8.1 Temperatura de fermentación	6
3.8.2 pH	6
3.8.3 Temperatura ambiental (°C)	6
3.8.4 Análisis financiero	6
IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN	7
4.1 Temperatura ambiente y temperatura de fermentación	7
4.2 Potencial de iones hidrógeno (pH)	8
4.3 Humedad del sustrato	10

4.4 Contenido de Proteína Bruta (PB), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS)	11
4.5 Análisis financiero	13
V. CONCLUSIONES	15
VI. LITERATURA CITADA	16
VII. ANEXOS	21

Dedicatoria

A **Dios** el creador del universo, del conocimiento y todo lo que existe. Por ser el pilar principal del día a día, dándome fortalezas para salir adelante venciendo con su ayuda y bendiciones los obstáculos del camino hacia el triunfo cumpliendo unas de mis principales metas, llegar a ser un profesional siendo un paso enorme en mi vida.

A mis padres, **José Jesús Espinoza Hunter** y principalmente a mi hermosa y adorable madre **Margarita María Gonzalez Chávez** 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 ella mi completa inspiración para salir adelante, por sus sacrificios, consejos y apoyo incondicional, gracias porque jamás me he sentido solo, tú siempre estás en mi corazón. Te amo mamá.

A mis hermanas, **Alondra Marllely Espinoza Leal** y **Nayaris Margarita Espinoza Gonzalez**, por su apoyo económico, ser mí hermana y mejor amiga, por sacrificar sus estudios por los míos, por estar conmigo desde el inicio de mi vida y hasta siempre, para mi ejemplo de superación a seguir. Te quiero.

A mis abuelas, **Miriam Auxiliadora Hunter Cucalón** y **Socorro Chávez Zuniga**, por sus oraciones y consejos para guiarme por el buen camino divino, porque me cuidaron, estuvieron conmigo en mis primeros pasos me enseñaron que la vida está llena de muchos retos los cuales con valentía y animo siempre serán superados.

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.

A mis mejores amigos de infancia **Orlando José Arroliga Cruz** y **Arnold Leonidas Espinoza Hunter** que siempre han estado conmigo en las buenas y en las malas brindándome siempre su apoyo económico y sustento sin esperar nada a cambio. Considerados como mis hermanos.

A los docentes, **PhD. Nadir Reyes Sánchez**, **Ing. Wendell Mejía tinoco**, **MSc. Rosario Rodríguez Pérez** y **MSc. Norlan Caldera**. 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.

Con mucho aprecio:

Junior Jasir Espinoza Gonzalez

Dedicatoria

A **Dios** padre nuestro creador de la vida, otorgador de los conocimientos y virtudes. Guía principal de mi vida y asesor fundamental en mis decisiones día con día, por ser la fortaleza indestructible donde nos apoyamos y defendemos para cumplir cada uno de nuestros sueños y metas. Permitiendo hoy cumplir uno de mis mayores logros al culminar mis estudios y optar por mi título profesional, el cual hemos luchado incansablemente por él y solo con tu ayuda ha de ser posible que hoy estemos aquí. Bendíceme siempre Dios.

A mis padres, **Gioconda Vanessa Fernández Thomason** y **José Aníbal Montiel Urbina** personas indispensables durante mi desarrollo como profesional y como persona de bien, a ellos por darme la crianza y ejemplos a seguir para no cometer errores en la vida, por esa paciencia que solo Dios les pudo dar para aguantar mis malas acciones, por esa ayuda emocional y económica que me permiten hoy estar aquí, por ser mis personas ejemplares y salir de donde solo Dios y nosotros sabemos. Los amo con todas mis fuerzas, gracias por ser mis padres.

A mí hermana **Roginia Vanessa Gutiérrez Fernández** por formar gran parte de mi vida, independientemente del poco tiempo que hemos estado juntos ocupas gran parte de mi corazón, te amo. A mi hermano **Marco Edmundo Montiel Fernández** por ser además de mi hermano, mi mejor amigo, por esas correcciones que de cierta manera me hacían recapacitar de las cosas que estaban mal, por salir adelante conmigo y nuestros padres. Te amo, se mejor cada día.

A mi abuelita, **Leticia del Carmen Urbina Tamariz** por siempre ponerme en tus oraciones y por darme en gran parte la educación que tengo, por esos consejos que solo tu como mi abuelita y mejor amiga me los otorgas, por esas historias y ejemplos que nunca te cansas de contarme. A mi abuelo **Edmundo Liberato Fernández Duarte** por esos consejos de vida y enseñarme a ser una persona trabajadora, por decirme que el éxito de la vida está en la humildad y la honradez. Los amo eternamente.

A mis demás familiares, amigos y compañeros de clases, principalmente a dos personas muy especial en mi vida **María José Talavera Meneses** y **Gloria de los Ángeles Meneses Montalván**, por ese apoyo emocional y espiritual al brindarme consejos de superación y responsabilidad bajo los mandamientos de Dios y por siempre estar ahí como amigas y como una madre pendiente de mí, aun los errores que eh cometido. Dios las bendiga siempre, les quiero.

A los docentes, **PhD. Nadir Reyes Sánchez**, **Ing. Wendell Mejía Tinoco**, **MSc Rosario Rodríguez Pérez** y al **MSc. Norlan Caldera**, por el asesoramiento y dedicación que nos dieron para hacer posible terminar este trabajo científico al compartir sus conocimientos con nosotros.

Con mucho cariño, **José Aníbal Montiel Fernández**.

Agradecimientos

Agradecemos primeramente a **Dios**, padre celestial, rey de reyes y señor de señores. Por darnos la vida, salud, sabiduría, perseverancia, concentración y los nuevos conocimientos que adquirimos día a día y durante el desarrollo de esta investigación científica, gracias por guiarnos y protegernos durante toda nuestra vida para que hoy estemos aquí culminando nuestra carrera, por dotarnos de tu inmenso amor, paciencia y perdón. Amen.

A **nuestros padres** porque después de Dios son los que más amor nos han demostrado mediante sus consejos, cuidados y enseñanzas, porque a pesar de no estar educados para criarnos lo han hecho de la mejor manera, eh aquí sus siembras dando cosechas, sintiéndonos muy orgullosos de tenerlos en nuestras vidas, esto no pudiera haber sido posible sin su perseverancia y dedicación para hacernos salir adelante. Los amamos con toda la fuerza de nuestro corazón. Muchas gracias.

A nuestros familiares, amigos y compañeros de clases que han estado en la trayectoria de nuestra vida, formando parte de cada buen recuerdo y consejos que hoy nos hacen estar presentando este trabajo, por los ejemplos que nos brindan sabiduría para hacer mejores personas cada día.

Gracias a la **Universidad Nacional Agraria** en especial a la **Facultad de Ciencia Animal**, por habernos permitido forjar nuestros conocimientos como profesionales en esta alma mater tan prestigiosa, al habernos enriquecidos con los conocimientos que pudimos adquirir en nuestra formación profesional. A la **Lic. Damaris Mendieta** quien dirige el **laboratorio bromatológico** donde se realizaron los análisis del experimento.

Gracias a todos nuestros **estimados maestros**, sin duda alguna son el pilar fundamental durante el curso de nuestro aprendizaje, que Dios nuestro creador los bendiga inmensamente y proteja cada día de sus vida, nos sentimos muy orgullosos y agradecidos de haber sido sus alumnos y en cada lugar donde estemos ejerciendo nuestra labor, siempre tendremos con nosotros un poco de cada uno de ustedes, nos sentimos muy orgullosos de nuestros formadores.

Muchas gracias a nuestros asesores **PhD. Nadir Reyes Sánchez e Ing. Wendell Mejía Tinoco**. También a los docentes **MSc. Rosario Rodríguez Pérez y MSc Norlan Caldera**, por el tiempo y paciencia dedicada en el desarrollo de esta investigación, por hacer posible que el día de hoy estemos defendiendo nuestro trabajo investigativo.

De todo corazón les agradecemos.

Jasir Espinoza y Anibal Montiel.

Índice de cuadros

Cuadros	Páginas
Cuadro 1. Resultados de porcentajes de PB, FDN, DIVMS.....	11
Cuadro 2. Presupuesto de producción de 1 qq de cada uno de los tratamiento de FES-Moringa.	14

Índice de figuras

Figuras	Páginas
Figura 1. Comportamiento de la temperatura de fermentación en cada uno de los tratamientos en estudio.	7
Figura 2. Comportamiento del pH para cada uno de los tratamientos en estudio.	9
Figura 3. Comportamiento de la humedad al inicio y al final del periodo de fermentación.	10

Indice de Anexos

Anexos	Paginas
Anexo 1. Utilizando el programa estadístico Minitab Statistical Software Version 16.0 (Minitab 2014) se realizó el procedimiento de comparación de medias a través de la Prueba de Tukey, con diferencias del ($p < 0.05\%$).....	21
Anexo 2. Ciclo de Producción de FES-Moringa.	21
Anexo 3. Toma de datos de variables (T^a Ambiente, pH, T^a fermentación).....	22

Resumen

Con el objetivo de estudiar el efecto de la inclusión de follaje fresco de Marango (*Moringa oleifera*) sobre la fermentación en estado sólido (FES) de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) mejorando su valor nutricional (FES-Moringa), utilizando un diseño completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los niveles de inclusión de follaje fresco de *Moringa oleifera* (FFMO) fueron: (T1) 10 %, (T2) 15%, (T3) 20%, (T4) 25%. Las variables estudiadas fueron: indicadores fermentativos a nivel de campo y composición química. Encontrando que la temperatura ambiental promedio durante las 36 h fue de 30.4 ± 0.81 °C. La temperatura promedio de fermentación para los tratamientos fueron 32.68 ± 0.63 °C, 31.92 ± 0.56 °C, 31.43 ± 0.61 °C y 31.67 ± 0.66 °C para FES-Moringa con 10, 15, 20 y 25%, respectivamente. El pH del proceso de FES-Moringa se mantuvo entre 5.5 y 8.8 con un pH promedio de 6.8 ± 0.2 , 6.74 ± 0.21 , 6.79 ± 0.21 y 6.67 ± 0.19 para cada tratamiento, respectivamente. El contenido de humedad del sustrato de fermentación estuvo entre 55.9 y 68.2% acorde con lo recomendado para la reproducción de hongos y levaduras. El contenido de PB del T1 difiere significativamente ($P < 0.05\%$) del contenido de PB de los T2, T3, T4. La FDN no mostró una diferencia ($p > 0.05\%$), entre los tratamientos, sin embargo se puede observar una disminución significativa ($p < 0.05\%$) en el contenido de FDN con relación a la caña de azúcar (CA). No hay diferencia ($P > 0.05\%$) de la DIVMS entre los diferentes niveles de inclusión del FFMO. La adición de FFMO mejora la FES de la CA y valor nutricional, además de ser una alternativa económica al compararlo con alimentos convencionales.

Palabras Claves. *Saccharum officinarum*, fermentación en estado sólido, follaje fresco de *Moringa oleifera*, FES-Moringa, bromatología.

Abstract

The aim of this study was to know the inclusion of moringa (*Moringa oleifera*) fresh leaves in solid state fermentation (SSF) of the sugar cane (*Saccharum officinarum*), improvement the nutrition of value. A completely randomized design was made with four treatments and three replicates. The percentage of incorporation of moringa leaves was: (T1) 10% (T2) 15%, (T3) 20%, (T) 25%. The variables studied were: fermentative field level indicator and their respective chemical composition. The average environment temperature during 36 hours was of 30.4 ± 0.81 °C. The average fermentation temperature for the treatment was 32.68 ± 0.63 °C, 31.92 ± 0.56 °C, 31.43 ± 0.61 °C y 31.67 ± 0.66 °C with 10, 15, 20 y 25%, respectively. The Ph process of SSF – Moringa remained between 5.5 and 8.8 with an average of 6.8 ± 0.2 , 6.74 ± 0.21 , 6.79 ± 0.21 y 6.67 ± 0.19 for each treatment, respectively. The content of moisture in the substrate of fermentation was among 55.9 y 68.2% according to the recommended for the yeast and fungus reproduction.

The CP content of T1 differs significantly ($P < 0.05\%$) between treatment (T2, T3, T4), the FDN did not show a difference ($P > 0.05\%$), between treatment, however can observe a decrease significant ($p < 0.05\%$) in the FDN content with relation to the sugar cane (SC). There is not difference ($P > 0.05\%$) in the DIVDM between the different levels of inclusion of the FFMO. The addition of FFMO improve the SSF of the SC and their nutritional value, besides to be an economic alternative when compared to other conventional foods.

Key words: *Saccharum officinarum*, solid state fermentation, foliage fresh *Moringa oleifera*, STF-Moringa, food science.

I. INTRODUCCIÓN

En el trópico seco de América Central, se sufre una sequía cíclica que afecta la respuesta productiva y reproductiva de las especies pecuarias, en el corto y mediano plazo. Para mitigar el déficit de alimentación durante ese período, los productores comúnmente recurren al uso de rastrojos agrícolas, pastos de corte generalmente en estado de madurez muy avanzado y pastoreo libre en potreros donde sólo están disponibles pastos secos o forrajes residuales (Fariñas, 2009).

Teniendo en cuenta, que la alimentación, representa el mayor porcentaje dentro de los costos totales de producción en una explotación pecuaria, es necesario buscar fuentes alternativas no convencionales de buena calidad nutricional, fácil consecución y constante producción durante el año; que puedan ser utilizadas en la dieta de los animales, ya sea como materia prima para la elaboración de concentrados o como suplemento alimenticio, que conlleven a mejorar la producción y productividad de la empresa pecuaria. (Vivas y Carvajal. 2004).

La búsqueda permanente de alternativas de solución a la problemática de alimentación en época seca, ha llevado a la consideración de la caña de azúcar como una alternativa viable, ya que es un alimento con una buena digestibilidad, rica en azúcares (fuentes de energía) pero muy pobre en proteínas, por lo tanto no satisface las necesidades mínimas de proteína exigidas por los bovinos (Reyes, 2008).

Otra opción es la utilización de árboles y arbustos forrajeros, los cuales tienen gran potencial para mejorar los sistemas de producción animal por su alto rendimiento de forraje, su capacidad de rebrotar y ofrecer forraje de buena calidad en localidades con sequía prolongada (Perdomo, 1991). Moringa oleifera es uno de estos árboles forrajeros que crece bien en todo tipo de suelos desde ácidos hasta alcalinos, es tolerante a la sequía y con alta producción de forraje entre 24 y 99 ton MS/ha/año. Las hojas frescas contienen entre 17 y 24.6% de PB y 2.73 Mcal de EM/kg MS. (Reyes-Sánchez *et al*, 2004), son ricas en vitaminas A, B y C, calcio, hierro y en dos aminoácidos esenciales (metionina y cistina) generalmente deficientes en otros alimentos (Makkar y Becker, 1996).

Por otro lado, se han desarrollado tecnologías de enriquecimiento proteico de la caña de azúcar por medio de la Fermentación en Estado Sólido (FES), con las que se obtiene un concentrado rico en proteínas a base de levaduras (Elías et al., 1990). La FES es un proceso biotecnológico para preservar o desarrollar nuevos alimentos a partir de la utilización de productos o sub productos agro industriales ricos en carbohidratos solubles y estructurales mediante el uso de microorganismos. (Pastrana, 1996).

Por lo anteriormente mencionado, se realizó el presente estudio con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes niveles de inclusión de follaje fresco de (*Moringa oleifera*), sobre el proceso fermentativo en estado sólido de la caña de azúcar (pH, temperatura de fermentación) y su valor nutricional (Contenido de proteína bruta, contenido de fibra detergente neutro y digestibilidad *in vitro* de la materia seca) para obtener un suplemento proteico de bajo costo que mejore el valor nutricional de la caña de azúcar y por ende mejorar la producción y productividad de las empresas pecuarias.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Evaluar el efecto de la inclusión de niveles crecientes (10%, 15%, 20% 25%) de follaje fresco de *Moringa oleifera* como aditivo en la fermentación en estado sólido (FES) de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

2.2 Objetivos Específicos

- i. Evaluar el efecto de inclusión de follaje fresco de *Moringa oleifera* sobre la dinámica fermentativa en estado sólido de la caña de azúcar (temperatura de fermentación, pH y humedad del sustrato).
- ii. Determinar el valor nutricional (proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN) y la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)) de la FES-Moringa con respecto a los distintos niveles de inclusión de follaje fresco de *Moringa oleifera*.
- iii. Realizar un análisis financiero del costo de producción de la FES-Moringa con diferentes niveles de inclusión de *Moringa oleifera*.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del experimento

El estudio se realizó en la finca Santa Rosa propiedad de la Universidad Nacional Agraria (UNA), Managua, Nicaragua, localizada al norte de la comunidad 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 condiciones 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 Descripción del experimento

Los tratamientos en estudio fueron:

1. FES-Moringa 10%: 79.25% caña de azúcar (CA) + 10% forraje fresco Moringa oleifera (FFMO)+ 8% pulidura + melaza (PUMEL) + 2.25% NNP (urea + sulfato de amonio) + 0.5% sal minero-vitáminica (SMV)
2. FES-Moringa 15%: 74.25% CA + 15% FFMO + 8% PUMEL + 2.25% de NNP + 0.5% SMV
3. FES-Moringa 20%: 69.25% CA + 20% FFMO + 8% PUMEL + 2.25% NNP + 0.5% SMV
4. FES-Moringa 25%: 64.25% CA + 25% FFMO + 8% PUMEL + 2.25% NNP + 0.5% SMV

3.3 Preparación de los tratamientos en estudio

Los tratamientos fueron preparados utilizando como materia prima principal tallos de caña de azúcar desprovisto de cogollo y hojas, de una variedad comercial no identificada, con doce meses de edad. Los tallos se cosecharon con machete y se fragmentaron en una picadora mecánica estacionaria para obtener un material con tamaño de partículas de 2 a 3 cm.

El follaje fresco de Moringa oleifera utilizado se obtuvo de un área establecida en el año 2003, como cultivo puro con una densidad de 166,000 plantas por hectárea, manejadas agrónomicamente, sin fertilización, sin herbicida y sin riego, ubicada en la finca Santa Rosa de la Facultad de Ciencia Animal (FACA). Antes de iniciar el experimento se realizó un corte con uniformidad, para garantizar la disponibilidad de rebrotes de 45 d de edad. El follaje se cortó con machete a una altura de 45 cm del suelo, se seleccionaron las hojas, pecíolos y tallos con diámetro menor a 5mm, luego se fragmento en pedazos de aproximadamente 2 cm de longitud, usando una picadora mecánica estacionaria.

3.3.1 Preparación de la FES-Moringa

La caña picada, fue distribuida en una superficie lisa de cemento, sobre un plástico negro (calibre 1000), en capas de 10 cm de espesor. Se preparó una mezcla de dos diferentes fuentes de NNP y sal mineral-vitamínica, la que se distribuyó de manera uniforme sobre la caña de azúcar picada, además se le agregó PUMEL y harina de hoja de Moringa oleifera según lo correspondiente a cada tratamiento. Todos los componentes mencionados se mezclaron homogéneamente, con la ayuda de un rastrillo forrajero, se distribuyeron nuevamente las mezclas y se dejaron fermentar por un período de 36 horas.

3.4 Manejo del experimento

Todos los tratamientos en estudio se ubicaron en la galera experimental de la Facultad de Ciencia Animal, localizada en la Finca Santa Rosa, que cuenta con techo, piso de concreto y buena ventilación, lo que garantizó las mismas condiciones ambientales para el proceso de fermentación en estado sólido de los tratamientos en estudio

Cada tratamiento consistió en un lote de 30 kg, dividido en tres repeticiones de 10 kg cada una, las que se extendieron en un piso de cemento bajo sombra, con espesor de capa de 10 cm garantizando las condiciones aeróbicas necesarias para la FES.

El período para el proceso de fermentación en estado sólido fue de 36 h. Se midió la temperatura ambiente y la temperatura de fermentación de cada repetición por tratamiento cada 4 h. Simultáneamente se midió el pH, utilizando un pH/temperature meter, model pH55/ph56 pocket size con electrodo reemplazable, marca pH Martini Instruments by Milwaukee Instruments, Inc. A las 4 horas y 20 horas de iniciado el proceso de fermentación se removió y agregó agua a cada repetición de cada tratamiento para favorecer el proceso de FES.

Al inicio y al final del proceso fermentativo, se recolectaron muestras aleatorias de cada repetición por tratamiento con un peso fresco de 250 g para determinar el contenido de MS. Al finalizar la fermentación, el material de cada repetición por tratamiento se dispersó, en capas delgadas de 2 cm de alto, para secarlo al sol y se revolvió cada hora para garantizar un secado uniforme. Una vez seco, se tomaron muestras aleatorias de 100 g de cada repetición por tratamiento.

3.5 Análisis químicos

Para la determinación del contenido de MS fue utilizado el procedimiento de la AOAC (1990). La concentración de nitrógeno total fue determinado utilizando el método de Kjeldahl (AOAC, 1984) y la concentración de Proteína Bruta fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\text{PB} = \% \text{ de nitrógeno total} * 6.25.$$

El contenido de Fibra Neutro Detergente fue analizada según lo descrito por Van Soest et al. (1991). Además, se determinó la Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS) usando el método in vitro modificado de una etapa (VOS) (Mbwile y Udén, 1991).

3.6 Diseño experimental y análisis estadístico

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

A los datos se les realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar el efecto de la inclusión de diferentes niveles de follaje de *Moringa oleifera* sobre las variables estudiadas utilizando el programa estadístico Minitab Statistical Software Version 16.0 (Minitab 2014) y se realizó el procedimiento de comparación de medias a través de la Prueba de Tukey cuando las diferencias entre los niveles de inclusión de follaje de *Moringa oleifera* fue estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Modelo aditivo lineal (MAL) usado fue:

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

Donde:

Y_{ij} : representa la j-esima observaciones del í-esimo tratamiento.

μ : representa la media poblacional.

T_i : efecto del í-esimo tratamiento.

E_{ij} : representa el error aleatorio.

3.7 Variables evaluadas

a) Indicadores fermentativos a nivel de campo.

- Temperatura ambiental (T_a)
- Temperatura de fermentación (T_f)
- PH
- Humedad del sustrato

b) Composición química (Bromatológico)

- Proteína bruta (PB)
- Fibra detergente neutro (FDN)
- Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)

3.8 Descripción de las variables

3.8.1 Temperatura de fermentación

Se midió en cada repeticiones de cada uno de los tratamientos la temperatura de fermentación, utilizando un pH/temperature meter, model pH55/ph56 pocket size con electrodo reemplazable, marca pH Martini Instruments by Milwaukee Instruments, Inc. Para una correcta lectura se introdujo el electrodo a una profundidad de 5 cm dentro de cada repetición.

3.8.2 pH

Se midió en cada repeticiones de cada uno de los tratamientos el PH, utilizando un pH/temperature meter, model pH55/ph56 pocket size con electrodo reemplazable, marca pH Martini Instruments by Milwaukee Instruments, Inc. Para una correcta lectura se introdujo el electrodo a una profundidad de 5 cm dentro de cada repetición.

3.8.3 Temperatura ambiental (°C)

Se determinó a través de un higrómetro "Chaney" (AQUARITE®), que se colocó en el área de la galera experimental donde estaban ubicados los tratamientos a una altura de 5cm a nivel del suelo.

3.8.4 Análisis financiero

Con la finalidad de comparar los costos de cada tratamiento, así como los beneficios que existen al sustituir uno por otro, se realizó un análisis de presupuestos por actividad.

Expuesto por Mendieta (2009) este es uno de los presupuestos más elementales, tiene como objetivo fundamental determinar la cantidad de fondos necesarios para poder enfrentar una actividad en particular, los pasos a seguir para la preparación de un presupuesto por actividad son los siguientes:

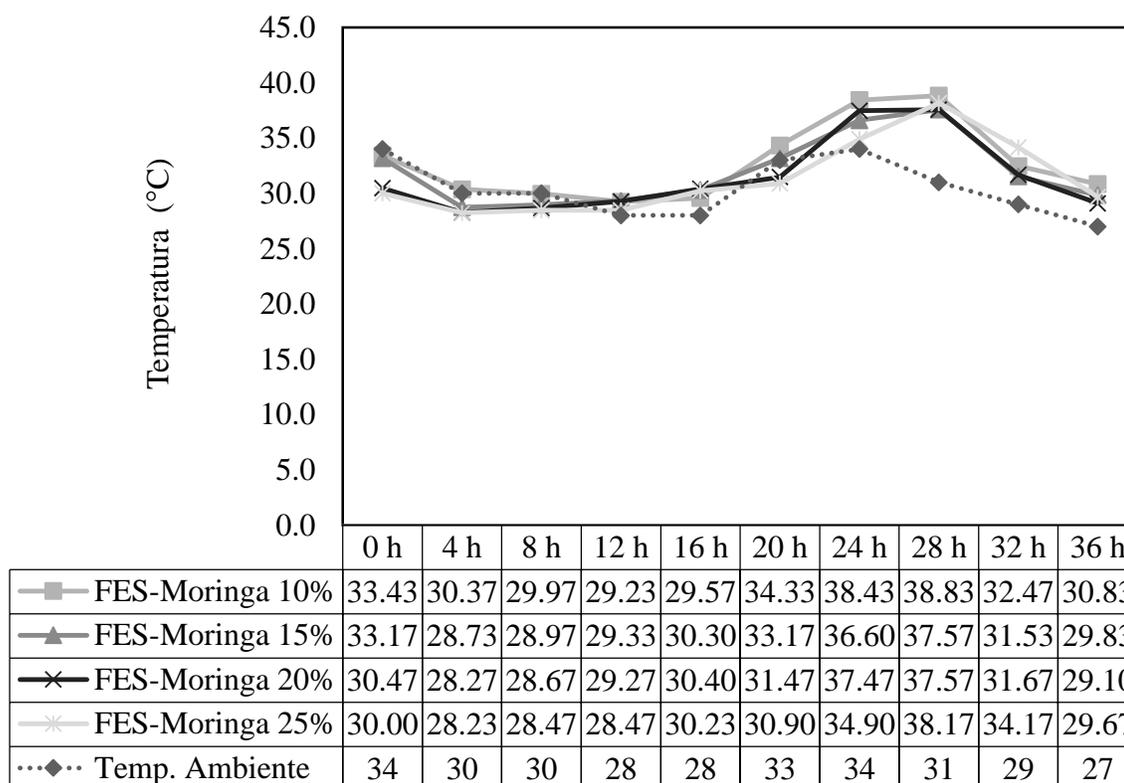
- Definición clara y concreta de los rubros que intervienen en la actividad.
- Cuantificación de los rubros anteriormente definidos.
- Totalización de los rubros.

IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Temperatura ambiente y temperatura de fermentación

En la figura 1 se presenta el comportamiento de la temperatura de fermentación con relación a la temperatura ambiente de cada uno de los tratamientos en estudio. Se observa que el comportamiento de las temperaturas de fermentación de los diferentes tratamientos fue similar al manifestado por la temperatura ambiente, infiriendo que existe influencia de la temperatura ambiente sobre el proceso biotecnológico de fermentación en estado sólido de la caña de azúcar con diferentes niveles de inclusión de follaje de *Moringa oleifera*.

Figura 1. Comportamiento de la temperatura de fermentación en cada uno de los tratamientos en estudio.



Como se muestra en la Figura 1, la temperatura ambiente promedio durante las 36 horas que dura el proceso de FES fue de 30.4 ± 0.81 °C, mientras que la temperatura promedio de fermentación para los tratamientos en estudio fueron 32.68 ± 0.63 °C, 31.92 ± 0.56 °C, 31.43 ± 0.61 °C y 31.67 ± 0.66 °C para FES-Moringa con 10, 15, 20 y 25% de inclusión de follaje de *Moringa oleifera*, respectivamente.

Estos resultados indican que durante el proceso de FES-Moringa, hay una tendencia natural a que se mantenga la temperatura interna de fermentación del producto con una estabilidad

relativa, con relación a la temperatura ambiente, lo cual es coincidente con lo expresado por Ruiz et al. (2002) y Rodríguez (2009), que exponen que en los procesos de FES, la temperatura de fermentación interna suele mantenerse constante a pesar de los cambios de temperatura ambiental; aunque en algunas ocasiones puede influenciar la temperatura del sustrato.

Según Becerra (2006) el rango óptimo para el crecimiento de levaduras es de 30 °C, aunque en la fermentación de caña de azúcar se reportan como temperaturas adecuadas de fermentación para el crecimiento de levaduras las que se ubican entre 30 a 33 °C (Lescano y Elías, 1992).

Por otro lado, Castillo (2013) manifiesta que la temperatura de fermentación óptima depende de los microorganismos que se desea desarrollar en el proceso, pero generalmente el óptimo se ubica entre 20 °C a 40°C, aunque se puede llegar a marcar hasta un máximo de 50 °C, no obstante, a esta temperatura se corre el riesgo de que los microorganismos se vuelvan lentos e ineficientes, por lo que es la mejor opción es mantener una temperatura de fermentación promedio cercana a 32 °C. En este sentido, es importante destacar que las temperaturas de fermentación obtenidas en el presente estudio en los diferentes tratamientos se ubican en el rango óptimo reportado por los autores anteriormente mencionados.

Por otro lado, en la Figura 1 puede observarse que entre las 24 y las 32 horas de fermentación hay un incremento de la temperatura interna del sustrato en todos los tratamientos con relación a la temperatura ambiente. Esto puede ser explicado, por lo manifestado por Berradre (2009) y Díaz *et al.* 2012, que 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.

Berradre. (2009) en su investigación de FES de productos de la industria vinícola encontró incremento de la temperatura inicial entre 23 y 27 °C hasta valores de 37.6 - 52 °C para luego descender a valores entre 25 y 35 °C. Es frecuente que como consecuencia de la actividad metabólica de los microorganismos, se produzca una elevación en la temperatura de fermentación, especialmente en las zonas internas del sustrato, este incremento térmico afecta directamente el crecimiento, germinación de las esporas y/o formación de producto (Pastrana 1996), la mejor opción es mantener una temperatura de fermentación promedio cercana a 32 °C.

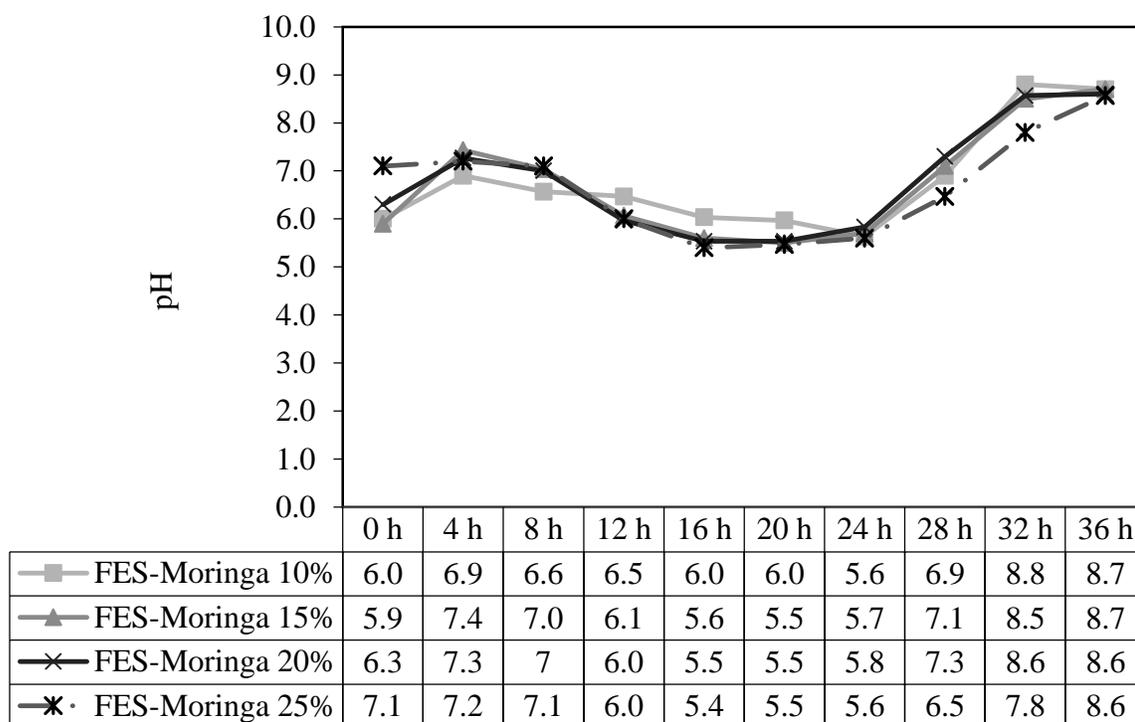
4.2 Potencial de iones hidrógeno (pH).

El pH es otro de los factores importantes en los proceso de fermentación. Cada microorganismo posee un rango de pH para su crecimiento y actividad con un valor óptimo dentro del rango. Normalmente hongos tienen un mejor crecimiento en sustratos 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 (Becerra, 2006; Caraveo 2008).

En la Figura 2 podemos observar que el pH del proceso de FES-Moringa durante las 36 horas se mantuvo en un rango entre 5.5 y 8.8 con un pH promedio de 6.8 ± 0.2 , 6.74 ± 0.21 , 6.79 ± 0.21 y 6.67 ± 0.19 para FES-Moringa con 10, 15, 20 y 25% de inclusión de follaje de Moringa oleifera, respectivamente, acorde con lo recomendado para la reproducción de hongos y levaduras.

Krishna (2005), expone que el pH cambia por diferentes razones; normalmente disminuye por la secreción de ácidos orgánicos como acéticos y lácticos durante el proceso. No obstante, la fuente de nitrógeno utilizada influye mucho en la tendencia que sigue el pH.

Figura 2. Comportamiento del pH para cada uno de los tratamientos en estudio.



Es importante destacar que posterior a las 24 h todos los tratamientos (Figura 2) mostraron un incremento del pH alcanzando valores entre 6.5 y 8.8, esto se explica por la liberación de amonio debido a la desaminación de la urea u otras aminas 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 (Caraveo, 2008).

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), sin embargo, no todo el NH_3 producido es utilizado, debido a que su producción es más rápida

que su asimilación, permitiendo que una parte se pierda en el ambiente (Rodríguez *et al*, 2001).

El comportamiento del pH en el proceso de FES de los tratamientos en estudio sufre una disminución en las primeras horas de fermentación debido a la producción de ácidos orgánicos, y su posterior incremento se explica por pérdidas de ácidos orgánicos y liberación de amoníaco por efecto de la descomposición microbiana (Berradre, 2009), manteniéndose en el rango óptimo para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos.

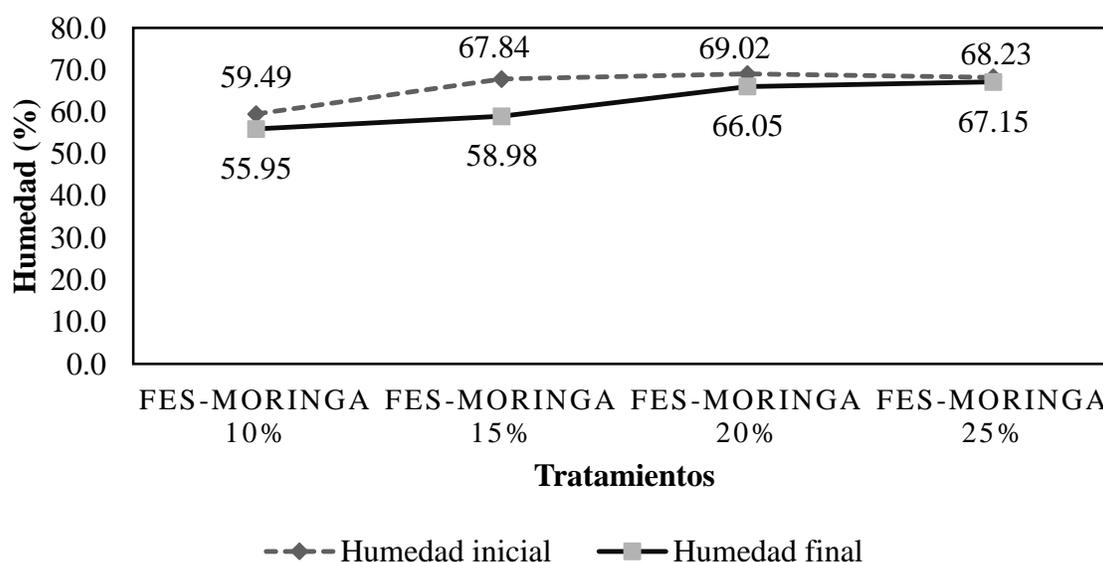
4.3 Humedad del sustrato

La FES es un método biotecnológico de cultivo de microorganismos sobre y/o dentro de partículas sólidas, en presencia de humedad, para desarrollar nuevos alimentos a partir de la utilización de productos o subproductos agroindustriales ricos en carbohidratos solubles y estructurales. No obstante, la humedad o el líquido ligado a las partículas debe ser en una cantidad que asegure la actividad adecuada para el crecimiento y el metabolismo de los microorganismos, buscando no exceder el máximo poder de retención de agua de la matriz sólida.

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 que va del 70 al 80 %. Se ha establecido que en 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, un rango aún más amplio de 20 al 70% (Becerra, 2006).

Como se aprecia en la figura 3, el contenido de humedad durante las 36 horas del proceso de fermentación estuvo entre 55.9 y 69.02%, en el rango de lo recomendado para el reproducción y crecimiento de levaduras.

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



Moyano (2014) por su parte recomienda que por lo general el contenido inicial de humedad del sustrato oscile entre el 30 y el 75% y Rodríguez (2009) considera que la humedad óptima para la FES es de un 68% para proporcionar un medio de cultivo ideal el desarrollo de la levadura *Saccharomyces cereviceae*. Los resultados de contenido de humedad obtenidos en el presente trabajo investigativo están dentro del rango reportados por los autores anteriormente mencionados.

Moyano (2014) plantea que durante el curso 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 la leve reducción de humedad del sustrato en el producto final después de 36 horas de fermentación ocurrido en el presente trabajo.

4.4 Contenido de Proteína Bruta (PB), Fibra Detergente Neutro (FDN) y Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS)

El proceso de FES permite incrementar significativamente ($p < 0.05\%$) el contenido de proteína bruta del tallo limpio de la caña de azúcar con NNP, PUMEL, Follaje fresco de Moringa oleifera (FFMO) y sales minero-vitamínicas de 2.2% a 23.02% de PB en el producto final obtenido (Cuadro 1).

El contenido de proteína bruta de FES-Moringa al 10% (17.8% PB) difiere significativamente ($P < 0.05$) del contenido de PB de FES-Moringa al 15, 20 y 25% de inclusión de FFMO con 22.01, 22.12 y 23.02 %, respectivamente, los que a su vez no difieren estadísticamente entre sí.

Numerosos investigadores coinciden en que la composición bioquímica de las levaduras es variable y que la mayor proporción está representada por las proteínas, aunque difieren en el rango de valores, Tacon (1989) informó que contienen entre 15% y 30% de proteínas, Otero (1999) reporta que representan entre 40-60% y Brown *et al.* (1996) entre 25-37%. Estas proteínas están localizadas en su mayoría en el citoplasma celular y otra porción está integrada a los ribosomas, al núcleo, a la membrana y a la pared celular (Otero, 1999).

Cuadro 1. Resultados de porcentajes de PB, FDN, DIVMS.

*abc Medias con distinta literal entre columnas representan diferencias significativas ($p < 0.05\%$) por prueba de Tukey. # Fuente: Animal feed resources information system, Last updated on 24/10/2012, <http://www.feedipedia.org/node/14462>.

Tratamientos	Análisis Bromatológicos		
	PC (%)	FDN (%)	DIVMS (%)
Caña de Azúcar (CA)	2.2 ^c	66.94 ^b	65.2 ^{b#}
FES-Moringa 10%	17.80 ^b	47.31 ^a	63.97 ^b
FES-Moringa 15%	22.01 ^a	43.26 ^a	62.74 ^b
FES-Moringa 20%	22.12 ^a	44.42 ^a	63.53 ^b
FES-Moringa 25%	23.02 ^a	45.13 ^a	63.16 ^b

Los resultados encontrados con FES-Moringa al 15, 20 y 25% de inclusión de FFMO son superiores a los de Valdivie *et al.* (1997), Herrera (2007) y Torres (2013) que reportan valores para saccharina rustica entre 11.1 y 18.66% de PB, es importante destacar que las diferencias probablemente se deben a que los autores anteriormente mencionados en el proceso de FES utilizan solo tallos limpios de la caña de azúcar con urea y sales minero-vitamínicas.

Rodríguez *et al.* (2001) en la FES de caña y boniato con adición de 1% de urea (sachaboniato) obtuvo valores de PB entre 10.1 y 13.7%.

Ramos *et al.* (2006) en estudios realizados en FES de caña de azúcar con adición de pulidura de arroz (sachapulido), maíz molido (sachamaíz) y sorgo molido (sachasorgo) encontraron valores de proteína bruta (PB) entre 18.13 a 19.70 %, similares a los obtenidos en este trabajo con FES-Moringa con 10% de inclusión de FFMO, pero inferiores a los valores de FES-Moringa con niveles de inclusión de 15, 20 y 25%.

En el cuadro 1, se puede observar una disminución significativa ($p < 0.05\%$) en el contenido de FDN de la FES-Moringa al 10, 15, 20 y 25% de inclusión de FFMO con relación a la caña de azúcar, esto puede deberse a un efecto de disgregación de la caña de azúcar, al agregar la pulidura de arroz, la melaza y el FFMO, además del efecto del tiempo de fermentación que fue de 36 h. No se observan las diferencias estadísticas significativas entre los niveles de inclusión de FFMO estudiados.

Estos resultados son similares a los encontrados por Rodríguez *et al.* (2001) y Torres (2013) que al agregar pulidora de arroz y melaza en la preparación de saccharina, obtuvieron una disminución del contenido de FDN. Son semejantes a los valores reportados por Ramos *et al.* 2006 para FDN con 46.5, 47.4, 46.3 y 47.7 para sachamaiz, sachasorgo, sachacitrico y sachapulido, respectivamente.

Los valores encontrados en este estudio son similares a los de Monroy *et al.* (2006), que reporta valores para FDN entre 31.42 y 44.18% para diferentes niveles de inclusión de pulidura de arroz en el proceso de FES de la caña de azúcar y son inferiores a los obtenidos por Torres (2013) de 55.2 % de FDN.

En el cuadro 1 se observa que no hay diferencia estadística significativa de la DIVMS entre los diferentes niveles de inclusión del FFMO, con valores entre 62.74 y 63.97%, en el rango de lo reportado por Aranda *et al.* (2012) que encontró valores entre 50 y 60 % de DIVMS utilizando Zeolita en la FES de la caña de azúcar.

Según Acevedo y Zeledón, (2009). En los estudios bromatológicos realizados en la Universidad Nacional Agraria (UNA) en la facultad de ciencia animal (FACA), la Caña de azúcar cuenta con 66.94% de FDN, estos resultados coinciden con los de este estudio.

La FES se desarrolla a partir de la microflora epifítica (levaduras y bacterias) presente en la caña de azúcar, los que se nutren de los azúcares presentes y cuya reproducción y desarrollo se favorece mediante el enriquecimiento del medio de cultivo con los nutrientes requeridos

por estos microorganismos y el control que se ejerce sobre el pH y la temperatura de fermentación (Vivas y Carvajal, 2004).

En este estudio la caña de azúcar, pulidura y melaza sirven como fuente de carbono para la reproducción y crecimiento de los microorganismos. La fuente de carbono representa la fuente de energía que estará disponible para el crecimiento microbiano. Este pudiera ser un simple monosacárido como la glucosa o un polímero complejo como la celulosa o el almidón.

Las fuentes de nitrógeno utilizadas fueron urea y sulfato de amonio (como fuente de nitrógeno inorgánico) y follaje fresco de *Moringa oleifera* (como fuente de nitrógeno orgánico). El Nitrogeno es el elemento crucial que determina el crecimiento microbiano. Es importante el suministro de fuentes orgánicas e inorgánicas de nitrógeno debido a que todas las levaduras pueden utilizar el ion amonio para la síntesis de proteína, pero otras pueden absorber aminoácidos intactos en el medio y algunas tienen la capacidad de desaminar aminoácidos individuales.

En la FES de caña de azúcar con urea y sales minerales se han aislado especies bacterianas como *Staphylococcus epidemidis*, *Actinobacter calcoacético* y *Proteus vulgaris*, que son bacterias hidrolíticas de urea para la producción de amoniaco (NH_3) metabolito indispensable en la síntesis celular de bacterias y levaduras que produce el incremento en la biomasa microbial (Valiño *et al.* 1992).

Por otro lado, durante la FES en la elaboración de saccharina es común que se produzcan cantidades considerables de ácido acético y láctico por bacterias que pueden favorecer en ciertas circunstancias la retención de nitrógeno y así facilitar su utilización en el sistema para el crecimiento de levaduras y bacterias (Lescano y Elías, 1992).

Además, el azufre, aportado por el sulfato de amonio, es un macromineral esencial en la formación de compuestos sulfurados en las células como metionina, cistina, homocisteína, cistationina, taurina y ácido cistéico, que podrían ser limitantes si el azufre no es disponible o insuficiente (Becerra 2006).

Finalmente, las sales minero-vitamínicas utilizadas garantizan el suministro adecuado de elementos como el fósforo, azufre, otros minerales trazas y vitaminas que son importantes como parte de la célula, y su metabolismo.

Es conocido que para el crecimiento de levaduras y otros microorganismos se deben adicionar vitaminas del complejo B como factores de crecimiento externo. La presencia de ácidos grasos volátiles (AGV) básicamente ácido acético en medio de urea sin elementos traza, inhibe el crecimiento microbiano, por lo que son requeridos para favorecer la fermentación (Pinto *et al.*, 1989).

4.5 Análisis financiero

Se muestra en el cuadro 2. El costo total para la producción de 100 lb (1 qq/fresco/seco) de FES-Moringa (10, 15, 20, 25%) respectivamente para cada uno de los tratamientos en estudio. Donde la FES-Moringa 10% tiene un costo de producción (\$/qq) 5.96 ± 0.02 en

diferencia con los tratamientos al 15 y 25%, sin embargo la FES-Moringa 20% tiene el mismo costo de producción (5.96 \$/qq) respectivamente con la FES-Moringa 10%.

Cuadro 2. Presupuesto de producción de 1 qq de cada uno de los tratamiento de FES-Moringa.

Ingredientes	Costos ingredientes para un qq de FES-Moringa			
	FES-Moringa 10%	FES-Moringa 15%	FES-Moringa 20%	FES-Moringa 25%
Caña de azúcar	0.29	0.28	0.26	0.24
Follaje fresco Moringa	0.037	0.056	0.075	0.093
Semolina	0.63	0.63	0.63	0.63
Melaza	0.55	0.55	0.55	0.55
Urea	0.38	0.38	0.38	0.38
Sulfato de amonio	0.12	0.12	0.12	0.12
Sal mineral	0.35	0.35	0.35	0.35
Costo Total US\$ / qq fresco	2.357	2.366	2.365	2.363
costo Total US\$ / qq seco	5.96	5.98	5.96	5.94

*Tasa de cambio oficial BCN C\$ 28.25

Se recomienda la implementación de la FES-Moringa 25%, debido a que esta contiene el valor más alto de PB (23.02%) y obtiene el costo más bajo de producción (5.94\$/qq/seco).

Comparando la FES-Moringa 25% con un quintal de sorgo forrajero, se refleja una gran diferencia entre los costos y los beneficios entre ellos. El quintal de sorgo forrajero tiene un 9.1% de PB según Beyer (1994) y la FES-Moringa 25% un 23.02% de PB, además el quintal de sorgo forrajero tiene un valor de \$ 24.78 y la FES-Moringa 25% un valor de producción de \$ 5.94.

Por lo tanto, la elaboración de FES-Moringa tiene una ventaja tanto nutritiva, como económica como un alimento no convencional para contrarrestar la deficiencia nutricional que padecen las diferentes especies animales en producción.

V. CONCLUSIONES

La inclusión de forraje fresco de *moringa oleifera* no afecta los indicadores fermentativos de la FES (Temperatura de fermentación, pH y Humedad del sustrato), se determinó que el proceso de FES-Moringa mejora el valor nutricional de la caña de azúcar, obteniendo mejores valores la elaboración de FES-Moringa 25%, con 23.02% PB, 45.13% FDN y 63.16% DIVMS.

El análisis financiero muestra que la elaboración de FES-Moringa 25% (\$ 5.94 qq/seco), comparado con un quintal de sorgo forrajero (\$ 24.78), nos permite concluir que la producción de FES-Moringa es una alternativa para los pequeños y/o medianos productores y ser viable para contrarrestar la problemática de la alimentación animal. Siendo esta un recurso altamente nutritivo y fácil elaboración.

VI. LITERATURA CITADA

- Acevedo Martínez, VM; Zeledón Hernández, EN. 2009. Estabilidad anaerobia del ensilaje de Marango con diferentes proporciones de Taiwán, caña de azúcar y melaza. Tesis I.Z. Facultad de Ciencia Animal. Universidad Nacional Agraria, Managua, NI. 40 p. (en línea), consultado el 07 feb. 2016, disponible en: <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnq52a174.pdf>.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemist, 15 thed. Washinton, DC, US. 1213p.
- AOAC. 1984. Official methods of analysis. Washington, DC, US: Association of Official Analytical Chemist.
- Aranda, EM; Lidia, EG; Ramos, JA; Salgado, S. 2012. Elaboración de un alimento basado en caña de azucar a partir de la fermentación en estado solido con diferentes niveles de Zeolitas, Universidad Popular de la Chontalpa, Revista Cubana de Ciencia Agricola, Tomo 46, No 2. MX. 5 p. (en linea), consultado el 19 de feb del 2016. Disponible en: <http://www.ciencia-animal.org/revista-cubana-de-ciencia-agricola/articulos/T46-N2-A2012-P159-EM-Aranda.pdf>
- 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; Mejías, M; Ferrer, J; Chandler, C; Páez, G; Marmol, Z; Ramones, E; Fernández, V. 2009. Fermentación en estado sólido del desecho generado en la industria vinícola, Laboratorio de Tecnologia de Alimentos, Facultad de Ingenieria LUZ. Maracaibo, VZ. 25 p. (en linea), consultado el 21 de feb del 2016. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/pdf/rfaz/v26n3/art06.pdf>
- Beyer, S. 1994. Requisitos nutricionales de aves de corral. Consejo de Granos EUA (US Grains Council – USGC), No 2. Kansas, US. 4 p.
- Brown, MR; Barrett, SM; Volkman, JK; Nearhos, SP; Nell, JA. 1996. Biochemical composition of new yeasts and bacteria evaluated as food for bivalve aquaculture. *Aquaculture*, 143 p.
- Calderón A, JO; Iglesias, AE; Valdivie, NM. 2005. Dinámica de la Fermentación en Estado Sólido de las camas de Cascarilla de Café en Inicio de Ponedoras Inoculadas con Vitafert. Revista Electrónica de Veterinaria REDVET. Centro Universitario

- Guantánamo. Vol.VI, N° 5. CU. 8 p. (en línea), consultado el 6 de Mar. Del 2016, Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050505/050521.pdf>.
- Caraveo R, AC. 2008. Efecto de los niveles de urea en la caña fermentada con pulidura de arroz (Sacchapulido), Colegio de Postgraduados, Institucion de Enseñanzas de Ciencias Agricolas, Campus Tabasco, Programa de Produccion Agroalimentaria en el Tropico. Tabasco, MX. 54 p. (en linea), consultado el 21 de feb del 2016. Disponible en: <http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/1594>
- Castillo, CY; Barrera, RO. 2013. Fermentacion en estado solido FES de sus productos agroindustriales como alternativa para obtener alimento animal, Universidad Autonoma de Ciudad Juarez, Alternativas de cadena de valor. Primer congreso internacional AGROMERCA, primera edicion. Ciudad Juarez, Chihuahua. MX. 85 p. (en linea), consultado el 21 de feb del 2016. Disponible en:<http://www.uacj.mx/DGDCDC/SP/Documents/Documents/Octubre%202013/Memorias%20Agromercaok.pdf>
- Fariña, T; et al. 2009. ¿Cómo preparar y suministrar bloques multi-nutricionales al ganado? Managua, NI: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 54 p.
- FAO, Feedipedia. 2012. Animal Feed Resources Information System. (en linea), consultado el 29 de mar del 2016. Disponible en: <http://www.feedipedia.org/node/14462>
- Herrera O, HR. 2007. Uso de la saccharina más aditivo en la alimentación de cuyes y su efecto en la etapa de gestación, lactancia, crecimiento y engorde. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Riobamba, EC. 104 p. (en línea), consultado el 06 de feb 2016. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/1761?mode=full>
- INETER. 2015. Instituto nicaragüense de estudios territoriales. Estación Metereologica del aeropuerto internacional Augusto Cesar Sandino, INETER, Managua, NI. (en línea), consultado el 26 de ene. del 2016. Disponible en: <http://www.ineter.gob.ni/>.
- Krishna. 2005. Critical solid-state fermentation systems-an overview review in biotechnology; ProQuest Agriculture Journals. 30 p. (en línea), consultado el 26 de feb. del 2016. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07388550590925383>
- Lezcano, O. & Elías, A. 1992. Efecto de la temperatura y la urea en la fermentación de la caña de azúcar para producir Saccharina. Rev. Cubana. Cienc. agríc. CU. 291 p.
- Makkar H, PS; Becker, K. 1997. Nutrients and antiquality factors in different morphological pars of the Moringa oleifera tree. Journal of agricultural Science, Cambridge. 311-332 p.

- Mbwile, RP; Uden, P. 1991. Comparison of laboratory methods on precision and accuracy of predicting forage organic matter digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 32 p.
- Mendieta A, GB. 2009. Administración de pequeñas fincas. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Ciencia Animal. Managua, NI. 124 p.
- Monroy, JM; Aranda, E; Mendoza, G; Ramos, JA; Herrera, J; Cobos, M; Izquierdo, F. 2006. Elaboración y conservación de Saccharina a partir de caña de azúcar integral, con la adición de melaza y pulidura de arroz. Instituto de Ciencia Animal Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 40, No. 2. CU. 7 p. (en línea), consultado el 07 feb. 2016, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017714005>.
- Moyano B, MA. 2014. Fermentación estado sólido (FES) de la papa (*solanum tuberosum*), como alternativa tecnológica para la alimentación animal, universidad nacional abierta y a distancia (UNAD) escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente especialización en nutrición animal sostenible. Tunja, CO. 87 p. (en línea), consultado el 06 de feb 2016. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/2545/1/2014-06.pdf>.
- Otero, MA. 1999. Procedimientos para el incremento del valor agregado de la Biomasa de levadura para el consumo humano, tesis de doctorado, Universidad de La Habana, La Habana, CU. 111 p. (en línea), consultado el 06 de Mar. Del 2016. Disponible en: <http://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/5666/Tesis%20maestr%C3%ADa%20Comabella,%20Yamil%C3%A9.pdf?sequence=1>
- Pastrana, L. 1996. Fundamentos de la fermentación en estado sólido y aplicación a la industria alimentaria *Ciencia y Tecnología alimentaria*, CU, (en línea), consultado el 20 de dic del 2015. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72410301>
- Perdomo, P. 1991. Adaptación edáfica y valor nutritivo de 25 especies y accesiones de leguminosas arbóreas y arbustivas en dos suelos contrastantes. Tesis de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Fac. de Ciencias Agrop. Palmira, Colombia. 128 pp.
- Pinto J, HH; Cardoso, HC; Leao, YN; Van Uden. 1989. High enthalpy and low enthalpy death in *Saccharomyces cerevisiae* induced by acetic acid. *Biotechnol. Bioeng.* 33 p.
- Ramos, JA; Elias, A; Herrera, F. 2006. Proceso para la producción de un alimento energético-proteico para animales. Efecto de cuatro fuentes energéticas en la fermentación en estado sólido (FES) de la caña de azúcar. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. Tomo 40, No 1. CU. 130 p.

- Reyes Sánchez, N. 2004. Marango: Cultivo y utilización en la alimentación animal. Managua, NI. Universidad Nacional Agraria. Guía técnica No. 5. 24p.
- Reyes, N; et al. 2008. Guía de suplementación alimenticia estratégica para bovinos en época seca. Managua, NI. Universidad Nacional Agraria. Guía técnica N° 12. 63p.
- Rodríguez, Z; Boucourt, R; Elías. A; Madera, M. 2001. Dinámica de fermentación de mezclas de caña (*Saccharum officinarum*) y boniato (*Ipomea batata*). Rev. Cubana Cienc. Agric. CU. 147-151 p.
- Rodríguez C; Lucero, JF; Meléndez, HE; Rodríguez, C; Hernández Ruiz, O. (2009). “Consumo de forraje y ganancia de peso de becerros comerciales para exportación, suplementados con bloques multinutricionales elaborados con manzarina”, en: *Memorias. Xxxiv Reunión Anual de la Asociación Mexicana de Producción Animal y x Reunión Bienal del Grupo Norte Mexicano de Nutrición Animal*, MX. pp. 195-198.
- Rodriguez, LA; Toro, ME; Vazquez, F; Corea D, ML; Gouiric, S.C; Vallejo, M.D. 2009. Producción de bio-etanol por fermentación en estado sólido sobre orujos de uva y de remolacha azucarera. Instituto de Biotecnología, Facultad de ingeniería – UNSJ. San Juan, AR. 5 p. (en línea), consultado el 06 de Mar. Del 2016. Disponible en: www.cab.cnea.gov.ar/ieds/images/2009/hyfusen_2009/.../12-138.pdf
- Ruiz O; Castillo CY; Arzola, AC; Elías A. (2002). “Efecto de la inclusión de carbonato de calcio en las características fermentativas del bagazo de manzana bajo un proceso de fermentación en estado sólido (fes)”, en: *Agromerca 2012*. Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, MX. 33 p.
- Tacon, A. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados, Manual de capacitación. Programa cooperativo gubernamental. Proyecto Aguila II (GCP/RLA/102/ITA), FAO, Brasilia, BR. 264 – 273 p.
- Torres M, JA. 2013. Alternativas para la alimentación de bovinos con base caña de azúcar. Trabajo presentado al XIX congreso de técnicos azucareros de Centro América. San José, CR. 17 p. (en línea), consultado el 06 de feb 2016. Disponible en: <http://fermojica.com/ppagro/media/presentaciones/ABOVINOS.pdf>
- Valdivie, M; Gonzalez, LM; Elias, A. 1997. Nuevos tipos de Saccharinas para aves. Revista Cubana de Ciencias Agrícolas. CU. 31 p.
- Valiño, E; Elías, A; Álvarez, E; Regalado; Cordero, J. 1992. Dinámica de crecimiento de la microbiota de la caña de azúcar durante la obtención de saccharina. Rev. Cubana de Cienc. Agric. CU. 297 p.

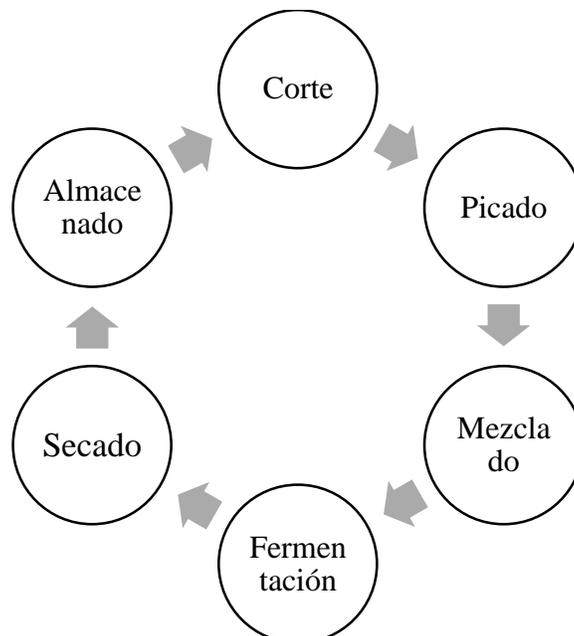
- Van Soest, PJ; Robertson, JB; Lewis, BA. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 4, 3583-3590 p.
- Vivas, NJ; Carbajal, J. 2004. Saccharina rustica una aplicación biotecnológica para la alimentación animal. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cauca. Vol 2, No 1. Cauca, CO. 6 p. (en línea), consultado el 07 feb. 2016, disponible en: [http://nutriciondebovinos.com.ar/MD_upload/nutriciondebovinos_com_ar/Archivos/File/SACCHARINA_RUSTICA_UNA_APLICACION_BIOTECNOLOGICA_PARA_LA_ALIMENTACION_ANIMAL_\(ICA\).pdf](http://nutriciondebovinos.com.ar/MD_upload/nutriciondebovinos_com_ar/Archivos/File/SACCHARINA_RUSTICA_UNA_APLICACION_BIOTECNOLOGICA_PARA_LA_ALIMENTACION_ANIMAL_(ICA).pdf)

VII. ANEXOS

Anexo 1. Utilizando el programa estadístico Minitab Statistical Software Version 16.0 (Minitab 2014) se realizó el procedimiento de comparación de medias a través de la Prueba de Tukey, con diferencias del ($p < 0.05\%$).

Tratamientos	PC (%)	Prueba de Tukey
FES-Moringa 25%	23.017	a
FES-Moringa 20%	22.123	a
FES-Moringa 15%	22.013	a
FES-Moringa 10%	17.803	b
Caña de azúcar	2.200	c
TRATAMIENTOS	FDN (%)	Prueba de Tukey
FES-Moringa 10%	47.310	a
FES-Moringa 25%	45.133	a
FES-Moringa 20%	44.417	a
FES-Moringa 15%	43.263	a
Caña de azúcar	66.94	b
TRATAMIENTOS	DVMS (%)	Prueba de Tukey
Caña de azúcar	65.20	b
FES-Moringa 10%	63.967	b
FES-Moringa 20%	63.533	b
FES-Moringa 25%	63.157	b
FES-Moringa 15%	62.703	b

Anexo 2. Ciclo de Producción de FES-Moringa.



Anexo 3. Toma de datos de variables (T^a Ambiente, pH, T^a fermentación).

Caracterización nutricional de la fermentación en estado sólido de la caña de azúcar con diferentes niveles de inclusión de forraje fresco de Moringa oleífera (FES-Moringa)

Tratamiento: _____

Tiempos de fermentación										
	Inicio	4 h	8 h	12 h	16 h	20 h	24 h	28 h	32 h	36 h
T ^a Ambiente										
Humedad Relativa										
T ^a de fermentación										
repetición 1										
repetición 2										
repetición 3										
pH										
Repetición 1										
Repetición 2										
Repetición 3										