

Evaluación de la calidad nutricional de tres densidades de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato

**Paulo César Pereira Rojas
Tania Alejandra Zúniga Galo**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de la calidad nutricional de tres densidades de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Paulo César Pereira Rojas
Tania Alejandra Zúniga Galo

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2016

Evaluación de la calidad nutricional de tres densidades de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato

Paulo César Pereira Rojas
Tania Alejandra Zúniga Galo

Resumen. El forraje verde hidropónico (FVH) es una alternativa de producción de materia vegetal de alta calidad nutricional que produce grandes cantidades de biomasa rápidamente. En este experimento se evaluó el aporte nutricional y costos de producción de FVH de tres densidades (0.4, 0.5 y 0.6 kg) de semilla de maíz y sorgo por m² con la inclusión de bagazo de caña como sustrato, además se evaluó el aporte nutricional del forraje sin la inclusión del bagazo, teniendo un total de 6 combinaciones (M04, M05, M06, S04, S05 y S06). Hubo diferencias entre maíz y sorgo en todas las variables. A medida aumentó la densidad, aumentó el aporte nutricional de los forrajes. Estos mismos presentaron valores para Materia Seca: 12.7 y 11.9%, Proteína Cruda: 13.3 y 11.9%, Fibra Neutro Detergente: 34.3 y 51.5%, Fibra Ácida Detergente: 13.5 y 20.3%, Energía Neta de Lactancia: 1.8 y 1.6 Mcal/kg, Materia Seca Digerible: 78.4 y 73.1%, Consumo de Materia Seca: 3.5 y 2.3% y Valor Relativo de Forraje: 214.7 y 179.3% para maíz y sorgo respectivamente, en un ciclo de 14 días. Se determinó que el uso de FVH sin inclusión de bagazo en la dieta tuvo los mejores aportes nutricionales. Se formularon dietas para vacas lecheras de 15 litros disminuyendo la suplementación de concentrado en las mismas, a su vez, el tratamiento M06, con un rendimiento de 26.5 Kg/m² de materia fresca, fue superior a todos los tratamientos generando mayor aporte nutricional y rendimientos, además de los mejores índices económicos.

Palabras clave: Densidad, digestibilidad, materia seca.

Abstract. Green Hydroponic forage (GHF) is a vegetative biomass productive alternative with high nutritional standards which quickly produce big biomass quantities. Evaluations report green hydroponic forage nutritional input and production costs of three densities (0.4, 0.5 y 0.6 kg) of maize and sorghum, planted in m² and the addition of sugar cane bagasse like substratum for a total of 6 combinations (M04, M05, M06, S04, S05 y S06). However, in phase 1 all variables were different between maize and sorghum, showing low nutritional results with the addition of bagasse. In phase 2, when density increases, forage nutritional input increases too. Same results present values for Dry Matter: 50.6 and 55.2%, Protein: 6.6 and 5.9%, Neural Detergent Fiber: 68.3 and 74.6%, Acid Detergent Acid: 27.9 and 27.6%, Net Energy Lactation: 1.5 and 1.4 Mcal/kg, Digestible Dry Matter: 69.2 and 75.4%, Dry Matter Consumption: 2.2 and 2.3% and Relative Forage Quality: 214.7 y 179.3%, with 14 days per cycle to be use, in maize and sorghum. It was determined that the green hydroponic forage usage without bagasse had better nutritional results. Formulations for livestock feds producing 15 liters where made which report that the non-use of bagasse reduces the addition of grains, meanwhile treatment M06 was superior in comparison with the other ones creating greater nutritional input and returns, however, better economic indicators.

Key words: Density, digestibility, dry matter.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
4. CONCLUSIONES.....	13
5. RECOMENDACIONES.....	14
6. LITERATURA CITADA.....	15
7. ANEXOS.....	17

ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Densidades utilizadas en la producción de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.....	4
2. Rendimientos de Materia Fresca de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.	7
3. Porcentajes de Materia Seca de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.	8
4. Rendimientos de Materia Seca de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.	8
5. Porcentajes de Proteína Cruda de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.	9
6. Porcentajes de Fibra neutro detergente de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.....	10
7. Porcentajes de Fibra ácido detergente de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.....	10
8. Energía neta de lactancia de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.....	11
9. Porcentajes de Materia Seca Digerible (MSD), Consumo de Materia Seca (CMS) y Valor Relativo del Forraje (VRF) de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.....	11
10. Comparación de dietas con 5 kg de FVH de cada tratamiento con dieta tradicional para vacas de 15 L en Unidad de Ganado Lechero, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	12
11. Datos económicos para dietas elaboradas con cada tratamiento de FVH y comparación con dieta tradicional para vacas de 15 L de la Unidad de Ganado Lechero, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	13
Anexos	Página
1. Recomendaciones de suplementación de FVH según la FAO (2001).	18
2. Costos de producción para kg de Materia Seca, kg de Proteína Cruda y Energía neta de Lactancia expresado en Mcal/kg con forraje verde hidropónico en Zamorano, Honduras	19

1. INTRODUCCIÓN

La alimentación para el ganado es un componente importante dentro de un sistema de producción pecuario donde se busca cumplir las necesidades del animal al menor costo posible. El uso de suplementos y complementos alimenticios debe ser acorde con la explotación y el tipo de animal con el que se trabaja tomando en cuenta su edad y estado fisiológico para que con este se pueda tomar las mejores decisiones de manejo.

En el mundo de hoy toda empresa ganadera busca modernizar las técnicas de producción utilizándolas eficientemente, esto aprovechando la tierra y capital disponible para mejorar la rentabilidad y que a la vez sea ecológicamente sostenible, única forma en la que se podría utilizar tierras disponibles para usos alternos de producción y reforestación ambiental (Buelvas 2009). Los sistemas de confinamiento ganadero aumentan la capacidad de carga animal disminuyendo el uso del pastoreo, hecho que favorece a los pequeños y medianos productores que buscan dar una mayor eficiencia a las áreas limitadas de las que disponen.

Por otra parte, el desafío más grande de nuestra época es ahorrar la mayor cantidad de espacio posible ya que, debido al crecimiento de las ciudades, las fronteras agrícolas no tienen lugar para seguir creciendo, todo esto, orientado también, a una producción pecuaria amigable al ambiente.

La ganadería ha estado ocupando porciones importantes de las diferentes zonas ecológicas en varios territorios transformando estos en hábitats naturales, que se encuentran en su mayoría ocupados por pastos degradados, esto por el sobrepastoreo, causando una desertificación muy severa (De la Colina 2001).

Las temporadas de sequías han sido muy comunes en la actualidad debido a los cambios climáticos, afectando a nuestro planeta presentando épocas prolongadas de hasta 4 a 8 meses, dejando a muchos ganaderos con expectativas de producción que no se llegan a cumplir. En Honduras existen sistemas de producción ganaderas que presentan el mismo problema de poca disponibilidad de alimento por la deficiencia productiva de forrajes, dentro de estos se encuentran productores de pequeña escala que necesitan alternativas para su alimentación y que no afecte negativamente las producciones. Esta carencia de alimento ha afectado constantemente el tamaño de los hatos dejando a estos escasos en cuanto volumen productivo (Fujisaka et al. 2005).

En Centro América la ganadería vacuna en pastoreo es una de las principales alternativas que demanda el uso de los suelos. Casi dos terceras partes de las tierras con aptitud agrícola

se destinan a pasturas, una proporción que varía entre países, desde 51% en Honduras hasta 82% en Costa Rica. La magnitud de estas cifras explica la alta incidencia que el uso y manejo de las pasturas tienen sobre la conservación y el uso productivo de los recursos de tierra en la región. Este hecho es más relevante si se considera que actualmente una alta proporción, aproximadamente 60%, de estas pasturas presentan problemas de baja productividad (Holmann 2005).

El Forraje Verde Hidropónico (FVH) es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido rápidamente (9 a 15 días), en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello. La tecnología es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forrajes a partir de especies aptas (avena, mezclas de trébol y gramíneas, alfalfa, etc.) para cultivo forrajero convencional (FAO 2001).

En la práctica, el FVH consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo (FAO 2001).

El FVH se muestra como una solución para producir alta cantidad biomasa obtenida de las etapas fenológicas de la germinación y crecimiento temprano que tienen alto porcentaje de digestibilidad, muy apto para la alimentación y nutrición animal. La producción de FVH es una opción creada con el propósito de solucionar tales limitaciones. Se busca también establecer una alternativa de producción que forme parte de un modelo de desarrollo humano sostenible en los aspectos económicos, sociales y ambientales partiendo de las necesidades del ganadero (Reyes 2012).

Hoy en día los ganaderos de pequeña y mediana escala buscan aumentar productividad y reducir sus costos sin descuidar la calidad nutricional del alimento que ofrecen a sus animales. Por otra parte, es importante tomar en cuenta que día a día el área para producir estos alimentos se reduce, hechos que llevan a buscar alternativas para ahorrar espacio.

El objetivo de este estudio es evaluar el aporte nutricional y los costos de producción de forraje verde hidropónico de maíz y sorgo sembrado sobre un sustrato de bagazo de caña como una alternativa para pequeños productores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la unidad de Ganado de Carne de la Escuela Agrícola Panamericana, Municipio de San Antonio de Oriente, ubicada a 30 km al Sudeste de Tegucigalpa, con una altitud de 800 msnm, temperaturas promedio de 24 °C y una precipitación anual promedio de 1100 mm.

Previo al inicio del experimento se aplicó el insecticida Fipronil con una mochila de 25 L esto disuelto en agua al 0.5%, aplicado en los alrededores con el propósito de disminuir la población de insectos y evitar potenciales ataques.

Para el experimento se utilizaron 12 canastas de comercialización de verduras con dimensiones de 45 cm de largo, 30 cm de ancho y 40 cm de profundidad. Las densidades fueron 0.4, 0.5 y 0.6 kg de semilla por metro cuadrado, con dos repeticiones cada una (Cuadro 1). López y colaboradores en el año 2009 utilizaron 3 densidades, en promedio de 2 kg por metro cuadrado. Por otro lado, la dosis recomendada por la FAO (2001) para semilla de maíz es de 2.8 kg por metro cuadrado.

Como medio de cultivo se utilizó bagazo que se acomodó a manera de una capa de 2 cm de grosor, totalizando 880 g del material dentro canastas de base rectangular con un área de 0.135 m². El material fue provisto por la Compañía Azucarera Tres Valles del departamento de Francisco Morazán. Siendo un subproducto del beneficio de la caña, éste tiene un precio relativamente bajo que ronda a los USD 5.00 por tonelada en promedio y es de fácil acceso para pequeños productores, especialmente de zonas cañeras.

Previo a la siembra se pregerminó las semillas de la siguiente manera: primero fueron lavadas con una solución de cloro al 5% mientras que fueron retiradas las impurezas y algunas semillas dañadas o quebradas, posteriormente fueron sumergidas en agua durante 12 horas, sacadas del agua a manera de airear las semillas durante una hora y sumergidas nuevamente por 11 horas, luego fueron sembradas uniformemente sobre el bagazo, finalmente fueron cubiertas por una delgada capa de bagazo para proteger la semilla. Cabe recalcar que las semillas no deben ser tratadas con insecticidas ni fungicidas ya que estos químicos pueden afectar la salud del ganado que consuma el forraje debido a que algunas semillas no germinan y son parte del forraje final.

El riego se hizo de acuerdo a la humedad de la cama de bagazo, si estaba seca se regaba a manera de dejarla nuevamente húmeda, basándonos únicamente en el aspecto visual, además de eso, las precipitaciones fueron de alrededor de 70 mm y la temperatura promedio fue de 23.6 °C durante los 14 días de duración del experimento (Estación Climatológica Zamorano).

Cuadro 1. Densidades utilizadas en la producción de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Densidad	
	kg semilla /caja	kg semilla/ m ²
M04	0.06	0.4
M05	0.07	0.5
M06	0.08	0.6
S04	0.06	0.4
S05	0.07	0.5
S06	0.08	0.6

Luego de transcurrir 14 días se muestreó la planta y el bagazo por separado, se unieron las repeticiones de la planta para tener una muestra representativa de 150 g, teniendo en total 6 muestras. Del bagazo se tomó solo una porción con un peso de 500 g.

Se midió la biomasa pesando todo el material presente en cada caja. Todo el contenido de las cajas fue pesado para así obtener la medida del peso de la biomasa por cada caja, los 0.135 m² de la base de las cajas fueron extrapolados para biomasa por un metro cuadrado (peso biomasa/m²) para efectos de estudio. Posteriormente se obtuvo el peso del volumen de plantas por diferencia, restando el peso del volumen inicial de bagazo que se colocó en cada caja.

Todas las muestras fueron secadas en un horno de convección a 105 °C por 6 horas. Estas mismas fueron molidas en un molino Thomas Wiley-Modelo 4, obteniendo un tamaño de partícula de un milímetro. Las muestras, una vez secadas y molidas, fueron rotuladas y guardadas en bolsas Ziploc® a temperatura ambiente. Con excepción del rendimiento de la biomasa, todas las variables fueron medidas en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano.

Variables medidas.

Materia Seca (MS). Las muestras se secaron en un horno de convección adiabático a 105 °C utilizando el método AOAC 930.15. Las muestras se pesaron antes y después del secado, se realizó el siguiente cálculo:

$$\% \text{ MS} = [(\text{Peso seco}) \div (\text{Peso húmedo})] \times 100 \quad [1]$$

Proteína Cruda (PC). Por su costo es el nutriente más importante en la dieta, su adecuada evaluación permite controlar la calidad de los insumos protéicos que están siendo adquiridos o del alimento que se está suministrando. El análisis se realiza con variantes del método Kjeldahl, que evalúa el contenido de nitrógeno total en la muestra, luego de ser digerida con ácido sulfúrico (FAO 1993). Se calculó con el método AOAC 2001.11.

Fibra Neutro Detergente (FND). Se define a la fibra neutro detergente como el remanente de fibras de una solución detergente neutra, siendo hemicelulosa, celulosa y lignina las más importantes. Se calculó con el método Ankom 6 de 4/13/11 de AOAC 2002.04.

Fibra Acido Detergente (FAD). Se define a la fibra ácido detergente como los restos de fibras de una solución ácido detergente, excluyendo a la hemicelulosa y quedando solamente la celulosa y la lignina, carbohidratos netamente estructurales. Se calculó con el método de AOAC 973.18.

Energía Neta de Lactancia (ENL). Es la energía necesaria para producir leche luego de haber cumplido los requerimientos de mantenimiento básicos en una vaca lechera. Se obtuvo mediante la ecuación de predicción de energía de forrajes de grano pequeño de la Universidad Estatal de Pennsylvania (Undersander et al. 1993):

$$\text{ENL (Mcal/kg)} = (0.7936 - (0.00344 \times \text{FAD})) \times 2.2 \quad [2]$$

Donde:

ENL = Energía Neta de Lactancia

Mcal = Mega Calorías

FAD = Fibra Acido Detergente

Materia Seca Digerible (MSD). Es la porción digerible del total de materia seca contenida en un forraje, se utiliza para denotar la calidad alimenticia de un pasto. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{MSD} = 88.9 - (0.779 \times \% \text{FAD}) \quad [3]$$

Donde:

%MSD = Porcentaje de Materia Seca Digerible

%FAD = Porcentaje Fibra Acido Detergente.

(Vélez y Berger 2011)

Consumo de Materia Seca (CMS). Es la cantidad de materia seca que un animal puede consumir en base a su peso vivo, expresa también, la calidad de un forraje ya que a mayor es la riqueza nutritiva de un forraje, mayor será el consumo de este mismo. Para su cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{CMS} = 120 / \text{FND} \quad [4]$$

Donde:

%CMS = Porcentaje de Consumo de Materia Seca

FND = Fibra Neutro Detergente

(Vélez y Berger 2011)

Valor Relativo del Forraje (VRF). Es el valor que califica la calidad de un forraje para poder ser comparado contra otros, se vale del porcentaje de materia seca digerible y el porcentaje de consumo de materia seca para obtener un valor que generaliza las cualidades de un pasto. Se utilizó la fórmula [5] para su cálculo:

$$\% \text{VRF} = (\text{MSD} \times \text{CMS}) / 1.29 \quad [5]$$

Donde:

% VRF = Valor relativo del forraje

MSD = Materia seca digerible

CMS = Consumo de materia seca

(Vélez y Berger 2011)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimientos de materia fresca (MF). En la primera fase los resultados analizados con la inclusión de bagazo presentan mayores índices, por otra parte, la segunda fase donde se analizó por separado el forraje y el bagazo, los rendimientos fueron inferiores. Hubo una relación directa entre la densidad de semilla y el rendimiento de la biomasa ya que a mayor fue la cantidad de semilla utilizada, mayor fue el rendimiento de materia fresca por área (Cuadro 2).

Herrera (1999) obtuvo rendimientos de 26.8 y 19.7 kg/m² de materia fresca para maíz y sorgo respectivamente, utilizando densidades de 3 kg/m² de ambas semillas, aplicando fertilizantes y cosechando a los 12 días.

Cuadro 2. Rendimientos de Materia Fresca de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.

Tratamientos	kg/m ²	
	Con bagazo	Sin bagazo
M04	28.83	22.33
M05	30.80	24.30
M06	32.96	26.46
S04	24.60	18.10
S05	25.99	19.49
S06	27.06	20.56

Porcentaje de materia seca (MS). El porcentaje de materia seca se vió influenciado en mayor proporción por la inclusión del bagazo ya que, según los análisis realizados, este material tuvo porcentajes de 76.25% de MS, elevando así los porcentajes del forraje integral que lo contenía (Cuadro 3).

Para el forraje sin la inclusión del bagazo los porcentajes estuvieron muy por debajo del experimento anterior mostrando resultados similares a Herrera (1999) mostró niveles de 18% para maíz y 13% para sorgo, utilizando densidades de 3 kg/m² de ambas semillas, aplicando fertilizantes y cosechando a los 12 días. Por otro lado, López et al. (2009) presentó resultados superiores para el maíz con 21% y un 13% para sorgo, utilizando densidades de 2 kg/m², sin utilizar fertilizantes y con cosechando a los 14 días después de la siembra.

Cuadro 3. Porcentajes de Materia Seca de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.

Tratamiento	%	
	Con bagazo	Sin bagazo
M04	53.12	11.6
M05	52.31	12.61
M06	50.65	12.72
S04	57.19	11.4
S05	55.67	11.59
S06	55.16	11.98

Rendimientos de materia seca (MS). Para obtener la cantidad de materia seca se hizo una relación con los porcentajes de materia fresca y materia seca de los forrajes para obtener el nivel de participación de cada material, forrajes y bagazo, en la mezcla integral.

Para los rendimientos en materia seca expresados en kilogramos por metro cuadrado, se observó una amplia diferencia para la fase analizada con bagazo debido al aporte de este mismo en cuanto a biomasa vegetal y su alto porcentaje de materia seca (Cuadro 4).

En promedio para maíz, el rendimiento fue de 3 kg y para sorgo de 2.3 kg/m², llevando estos resultados a rendimientos por una hectárea, tenemos, 30 y 22.7 t/ha de materia seca para maíz y sorgo respectivamente mostrando excelentes rendimientos. Si se toma en cuenta el tiempo en el que es producido (14 días), haciendo un promedio de 25 ciclos por año, considerando una merma del 30% de la producción que se tomó arbitrariamente, se tendría un rendimiento anual por hectárea de 525 toneladas para maíz y 397.3 toneladas para sorgo, superando ampliamente la producción de materia seca por hectárea de todos los forrajes tropicales.

Cuadro 4. Rendimientos de Materia Seca de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.

Tratamientos	kg/m ²	
	Con bagazo	Sin bagazo
M04	15.31	2.59
M05	16.11	3.06
M06	16.69	3.37
S04	14.07	2.06
S05	14.47	2.26
S06	14.93	2.49

Porcentaje de proteína cruda (PC). El porcentaje de proteína cruda se vió altamente influenciado por la presencia de bagazo ya que para la fase donde se analizan los datos sin la inclusión de bagazo presentaron valores dos veces menores en promedio (Cuadro 5).

En el caso de Gómez (2008) encontró niveles de 10.5% para maíz y 9.8% para sorgo, utilizando una densidad de 2 kg/m² de ambas semillas sembradas sobre bandejas, cosechando a los 11 días. López et al. (2008) encontraron un tenor de 14.5% de proteína en maíz con densidades de 1.5 kg/m² también sembrado sobre bandejas plásticas. Los resultados presentados por Vargas (2006) muestra valores de proteína cruda de 10.47% para el sorgo sembrado sobre bandejas. Mientras que, Núñez et al. (2009), determinó que para vacas de alta producción se necesitan rangos de 18 a 22% de proteína cruda para ser considerado un forraje de excelente calidad.

Cuadro 5. Porcentajes de Proteína Cruda de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.

Tratamientos	%	
	Con bagazo	Sin bagazo
M04	5.40	11.05
M05	5.89	11.36
M06	6.56	13.32
S04	5.04	10.53
S05	5.60	10.85
S06	5.94	11.88

Porcentaje de fibra neutro detergente (FND). El análisis hecho con bagazo muestra resultados bastantes superiores a diferencia de los análisis realizados sin el mismo, tomando en cuenta la cantidad de fibras que puede tener un bagazo, ya que en este caso mostró un porcentaje de alrededor de 80% se observó su influencia sobre el forraje con la inclusión del mismo (Cuadro 6).

Los análisis obtenidos por Vargas (2006) mostraron los resultados obtenidos de FND que en el caso de maíz fue de 18.9% y de sorgo fue 49.6%, esta diferencia está dada por la ausencia de bagazo en este experimento. Según Gómez (2008), quién evaluó combinaciones de maíz, sorgo y dólicos, el maíz tuvo una FND de 37.6%, para la combinación de maíz con dólicos tuvo en promedio una FND de 38.2%. En el caso del sorgo fue de 44.8% y combinada con dólicos tuvo en promedio 40.9%, nuevamente se observó estas diferencias debido al uso de bagazo en este experimento y también a los aportes del dólicos en el estudio de Gómez.

Cuadro 6. Porcentajes de Fibra neutro detergente de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.

Tratamientos	%	
	Con bagazo	Sin bagazo
M04	68.32	37.76
M05	66.15	35.70
M06	65.31	34.32
S04	78.27	57.30
S05	76.64	55.45
S06	74.59	51.53

Porcentaje de fibra ácido detergente (FAD). Las fibras neutras y ácidas detergentes se comportaron de manera similar, a medida aumentó la densidad, aumentó también la proporción de forrajes verdes sobre bagazo y consecuentemente se observó una reducción gradual del porcentaje de ambos tipos de fibras (Cuadro 7).

Vargas (2006) encontró 19% para maíz y 45% para sorgo, utilizando fertilizantes y una densidad de 4 kg de semilla en 720 cm² sembradas sobre bandejas y cosechando a los 10 días. Por otra parte, Gómez (2008) tuvo niveles de 13 y 22% para maíz y sorgo, respectivamente, utilizando densidades de 2 kg/m² de semilla sembrada sobre bandejas, mostrando así resultados bastante similares a los de este estudio.

Cuadro 7. Porcentajes de Fibra ácido detergente de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.

Tratamientos	%	
	Con bagazo	Sin bagazo
M04	27.91	14.88
M05	26.24	14.06
M06	25.36	13.52
S04	30.83	22.57
S05	28.80	21.84
S06	27.56	20.30

Energía neta de lactancia (ENL). Los aportes de energía neta de lactancia y se observó cómo aumentó a medida las densidades incrementaron en ambos cultivos (Cuadro 8).

En el estudio de Núñez (2009) se encontró 1.96 Mcal/kg para maíz y 1.50 Mcal/kg para sorgo presentando valores similares a los de este estudio. Núñez et al. (2014) determinó que para vacas de alta producción se necesitan por lo menos 1.5 Mcal/kg de energía neta de lactancia para que un forraje sea considerado como uno de buena calidad. En este estudio vemos todos los valores por encima de ese límite.

Cuadro 8. Energía neta de lactancia de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras.

Tratamientos	Mcal/kg	
	Con bagazo	Sin bagazo
M04	1.45	1.78
M05	1.49	1.81
M06	1.52	1.81
S04	1.38	1.59
S05	1.43	1.60
S06	1.46	1.64

Porcentajes de materia seca digerible (MSD), consumo de materia seca (CMS) y valor relativo del forraje (VRF). Los resultados para estas variables estuvieron de acuerdo a lo esperado, los análisis realizados con la inclusión de bagazo presentaron valores inferiores a los mostrados por los análisis hechos sin incluir el bagazo (Cuadro 9).

El manual de NRC (2001) establece que los valores para consumo de materia seca deben ser de por lo menos 2.5% del peso vivo del animal, mostrando valores inferiores para los análisis hechos con bagazo debido a la alta cantidad de fibra de baja digestibilidad de este mismo. El tratamiento M06, con 0.6 kg/m² de semilla de maíz, mostró los mejores índices para estas tres variables que denotan la calidad de un forraje. Según Núñez et al. (2014) la aplicación de calidad relativa de forraje es la calificación de los forrajes en relación a los requerimientos nutricionales de las diferentes especies de ganado, aunque su principal uso es para la venta de forrajes en los Estados Unidos de América.

Cuadro 9. Porcentajes de Materia Seca Digerible (MSD), Consumo de Materia Seca (CMS) y Valor Relativo del Forraje (VRF) de forraje hidropónico de maíz y sorgo sobre bagazo de caña de azúcar como sustrato en Zamorano, Honduras

Tratamientos	%					
	Con bagazo			Sin bagazo		
	MSD	CMS	VRF	MSD	CMS	VRF
M04	67.16	1.76	91.63	77.31	3.18	190.58
M05	68.46	1.81	96.06	77.95	3.37	203.64
M06	69.14	1.84	98.62	78.37	3.53	214.45
S04	64.88	1.53	76.95	71.32	2.09	115.55
S05	66.46	1.57	80.89	71.89	2.16	120.37
S06	67.43	1.61	84.16	73.09	2.34	132.58

Suplementación estratégica y costos. Luego de analizar los forrajes de todas las densidades, se elaboraron dietas utilizando una plantilla avanzada de Excel[®], en base a los requerimientos que provee NRC (2001) utilizando como bases vacas de 500 kg de peso vivo, día 120 de su segunda lactancia, 3.6% de grasa, 3.2% de proteína y una producción diaria de 15 L.

Se utilizaron los análisis químicos de cada tratamiento de FVH y precios actuales de los ingredientes en el mercado. Se utilizó una base forrajera pasto Tobiata, con fertilización y cortes de 18 días, además de 5 kg de FVH de cada tratamiento para la elaboración de las dietas con el fin de reducir el uso de concentrados. Las dietas se compararon con la dieta utilizada tradicionalmente en la Unidad de Ganado Lechero de la Escuela Agrícola Panamericana.

El cuadro 10 muestra menor uso de concentrados utilizando una suplementación de 5 kg de FVH de todos los tratamientos, destacando el tratamiento M06 como el más eficiente para este fin con una diferencia de 870 g menos que la dieta tradicional.

Cuadro 10. Comparación de dietas con 5 kg de FVH de cada tratamiento con dieta tradicional para vacas de 15 L en Unidad de Ganado Lechero, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras

Forrajes	Tratamiento						
	Tradicional	M04	M05	M06	S04	S05	S06
Pasto Tobiata 18 d-F ^Ω (kg)	48	48.4	48.4	48.4	47.6	47.7	47.6
FVH (kg)	0	5	5	5	5	5	5
Complementos							
Maíz molido (kg)	4.3	3.8	3.87	3.8	4	3.9	4
Harina de soya (kg)	0.1	0	0	0	0.05	0.05	0.02
Melaza (kg)	0.5	0.3	0.24	0.23	0.25	0.3	0.26
Total suplementos (Kg)	4.9	4.1	4.11	4.03	4.3	4.25	4.28

Ω Pasto Tobiata usado como base forrajera en dietas de la Unidad de Ganado Lechero, con fertilización y corte a los 18 días.

M04, M05, M06= Densidades de 0.4, 0.5 y 0.6 kg de semilla de maíz por m², respectivamente.

S04, S05, S06= Densidades de 0.4, 0.5 y 0.6 kg de semilla de sorgo por m², respectivamente.

Se evaluó el costo de alimento por vaca al día, donde vemos una diferencia de USD 0.21 menos para el tratamiento M06 comparándolo con la dieta tradicional. También vemos que el costo de alimento por litro de leche fue USD 0.01 menor para todos los tratamientos de forraje hidropónico. Para el caso del costo de alimento por litro de leche vemos nuevamente que con el tratamiento M06 solo se proveyeron 269 g de concentrado para producir un litro de leche, a diferencia de la dieta tradicional donde se ofrecieron 327 g

De la misma manera, fueron necesarios menos litros de leche para pagar el alimento utilizando una suplementación de FVH que solo usando la dieta tradicional y consecuentemente los litros libres que quedaron luego de pagar la alimentación fueron mayores para las dietas con inclusión de forraje hidropónico. Teniendo estos datos se calculó el ingreso sobre el costo de alimentación que fue mayor para el caso de las dietas con 5 kg de FVH mostrando en todos los casos la utilidad de este alimento.

Cuadro 11. Datos económicos para dietas elaboradas con cada tratamiento de FVH y comparación con dieta tradicional para vacas de 15 L de la Unidad de Ganado Lechero, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Índices económicos	Tradicional	M04	M05	M06	S04	S05	S06
Costo Alimento (\$/vaca/día)	1.39	1.19	1.2	1.18	1.27	1.26	1.27
\$ de Alimento por Litro de leche	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Concentrado por litro de leche (g)	327	273	274	269	287	283	285
Litros necesarios para Alimento	2.85	2.44	2.46	2.43	2.61	2.59	2.61
Litros libres después de Alimentación	12.15	12.5	12.53	12.57	12.39	12.41	12.39
ISCA ^Φ (\$)	5.92	6.09	6.1	6.12	6.03	6.04	6.03

ΦISCA= Índice sobre costo de alimentación.

M04, M05, M06= Densidades de 0.4, 0.5 y 0.6 kg de semilla de maíz por m², respectivamente.

S04, S05, S06= Densidades de 0.4, 0.5 y 0.6 kg de semilla de sorgo por m², respectivamente.

4. CONCLUSIONES

- La densidad de 0.6 kg/m² para maíz y sorgo fue la mejor en cuanto a aportes nutricionales.
- Las variables del forraje que fue analizado sin la adición de bagazo presentó mejores índices nutricionales que el forraje que sí incluyó bagazo.
- La densidad de 0.6 kg/m² de maíz reemplazó la mayor cantidad de suplementos, además de tener el ISCA más alto.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios suministrando las dietas del forraje hidropónico.
- Validar en campo las dietas realizadas.
- Evaluar el uso de bagazo en una menor proporción para las camas del forraje, el efecto de riego en la producción de FVH y la presencia de micotoxinas en el alimento.
- Realizar un experimento con mayor número de repeticiones para poder validar los resultados en base a una prueba estadística.

6. LITERATURA CITADA

Buelvas R. 2009. Evaluación de tres tipos de fertilizantes sobre la producción de biomasa y calidad nutricional del pasto Maralfalfa (*Pennisetum sp*) cosechado a cuatro estadios de crecimiento diferentes. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Programa de Zootecnia. Bogotá D.C. (Colombia). 154 p.

De la Colina, A. 2001. Problemas y desafíos de la ganadería vacuna en el desarrollo rural sostenible: El caso de Cuba. Instituto de Geografía Tropical, CITMA. Ciudad de la Habana (Cuba).

FAO (Food and Agriculture Organization). 1993. Manual de Técnicas para laboratorios de nutrición de Rumiantes. Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. México D. F. (México).

FAO (Food and Agriculture Organization). 2002. Forraje Verde Hidropónico. Manual Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Oficina Regional de la FAO para América latina y el Caribe. Santiago (Chile).

Fujisaka S., Holman F., Peters M., Schmid A., White D., Burgos C., Ordoñez J., Mena M., Posas M.I., Cruz H., Davis C., Hincapié B. 2005. Estrategias para minimizar la escasez de forrajes en zonas con sequías prolongadas en Honduras y Nicaragua. 30 p.

Gómez Burneo, JM. 2008. Evaluación de la producción y la composición nutricional de tres tipos diferentes de forraje hidropónico. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Francisco Morazán (Honduras).

Holmann F., Rivas L. 2005. Los forrajes mejorados como promotores del crecimiento económico y la sostenibilidad: es caso de los pequeños ganaderos de Centroamérica. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali (Colombia). 36 p.

López, R., Murillo, B., Rodríguez, G. 2009. El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. Programa de Agricultura en Zonas Áridas del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), La Paz (México).

NRC (National Research Council).2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Nutrient Requirements of Domestic Animals. 7^{ma} rev. Ed.

Núñez, G., Figueroa, U., Chew, Y., Ramírez D., Reyes, J., Reta, D., Faz, R., Osuna, E., Castro, M. 2009. Producción y aprovechamiento de forrajes. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (SAGARPA-INIFAP). Centro de Investigación Golfo Centro. Veracruz (México).

Núñez, G., Rodríguez, K., Granados, J., Anaya, A., Figueroa, U. 2014. Calidad nutricional y utilización de forrajes en explotaciones lecheras en la región lagunera. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Coahuila (México).

Reyes Díaz, JA. 2012. Desarrollo e implementación de la ganadería intensiva, para una mejor comercialización de carne bovina en la finca "El Cortijo las Marías". Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ciencias Administrativas. Departamento de Ciencias Básicas. Programa Administración de Empresas. Cali (Colombia).

Romero Herrera, CA., 1999. Evaluación hidropónica de dólicos (*Lablab purpureus L.*), maíz (*Zea mays*) y sorgo (*Sorghum bicolor L.*) en producción y calidad de forraje. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Francisco Morazán (Honduras).

Romero, M., Córdova, G., Hernández, E., 2009: Producción de Forraje Verde Hidropónico y su Aceptación en Ganado Lechero. Universidad de Guanajuato. Guanajuato (México).

Sánchez Larraeta, PD. 1998. Producción de forraje hidropónico en condiciones de Zamorano. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Francisco Morazán (Honduras).

Undersander, D., D. Mertens y N. Thiex. 1993. Forage Analyses Procedures. The National Forage Testing Association. p 118. Nebraska (EEUU).

Vargas, C.2006. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Agronomía Mesoamericana. Universidad de Costa Rica. San José (Costa Rica).

Vélez, M. y V. Berger. 2011. Producción de Forrajes en el Trópico. (A. Pitty, Ed.) Zamorano, Francisco Morazán, Honduras: Zamorano Academic Press. 151 p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Recomendaciones de suplementación de FVH según la FAO (2001).

Especie de animal	Dosis de FVH kg por cada 100 kg de peso vivo	Observaciones
Vaca lechera	1.0 - 2.0	Suplementar con fibras
Vacas Secas	0.5	Suplementar con fibra de buena calidad
Vacunos de Carne	0.5 - 2.0	Suplementar con fibra normal

Adaptado de FVH, Manual técnico. FAO (2001).

Anexo 2. Costos de producción para kg de Materia Seca, kg de Proteína Cruda y Energía neta de Lactancia expresado en Mcal/kg con forraje verde hidropónico en Zamorano, Honduras.

Tratamiento	kg MF	Cantidad Semilla (kg)	MS %	kg MS	\$/kg MS	PC %	kg PC	\$/kg PC	ENL	ENL Total	\$/Mcal/kg ENL
M04	22.33	0.4	12.72	2.84	0.06	11.05	0.31	0.55	1.80	5.11	0.03
M05	24.30	0.5	11.60	2.82	0.08	11.36	0.32	0.67	1.78	5.02	0.04
M06	26.46	0.6	12.61	3.34	0.08	13.32	0.44	0.58	1.81	6.04	0.04
S04	18.10	0.4	11.40	2.06	0.07	10.53	0.22	0.70	1.59	3.28	0.05
S05	19.49	0.5	11.98	2.33	0.08	10.85	0.25	0.76	1.64	3.83	0.05
S06	20.56	0.6	11.59	2.38	0.10	11.88	0.28	0.81	1.60	3.81	0.06
Maíz en grano	1	1	88.00	0.88	0.49	9.00	0.08	5.43	2.00	1.76	0.24