

UNIVERSIDAD NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR 3

ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS

***EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y ECONÓMICA DE LA
PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ
(Zea mays) EMPLEANDO GRANO COMERCIAL.***

Tesis para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica

Estudiante:

Isaac Moreno Alvarado

Tutor:

Ing. Andrés Alpízar Naranjo, M. Sc.

Asesores:

Ing. Francisco Marín Thiele.

Ing. Eduardo Salas Alvarado, Dr.

Campus Omar Dengo Heredia, Costa Rica, 2018

***EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y ECONÓMICA DE LA
PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ
(Zea mays) EMPLEANDO GRANO COMERCIAL.***

ISAAC MORENO ALVARADO

**Trabajo final de graduación de tesis sometida a consideración del
tribunal examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias para optar por el
grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica.**

Trabajo final de Graduación presentado como requisito parcial para optar al grado
de Licenciado en Ingeniería Agronómica.

Tribunal Examinador

M Sc. Tomas Marino Herrera

Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

P hD. Rafael Evelio Granados Carvajal

Director Escuela de Ciencias Agrarias

M Sc. Andrés Alpízar Naranjo

Director de Tesis

M Sc. Francisco Marín Thiele

Asesor 1

P hD. Eduardo Salas Alvarado

Asesor 2

Bach. Isaac Moreno Alvarado

DEDICATORIA

Todo mi esfuerzo es dedicado primero a Dios por permitirme concluir todo este proceso de desarrollo académico y personal, debido a que EL es centro y guía en cada una de las decisiones tomadas.

También deseo dedicar esta etapa a mis padres Freddy Moreno y Mercedes Alvarado y mis hermanos Daniel Moreno y Allan Moreno porque con su amor, consejos, preocupación y sobre todo apoyo incondicional hicieron que llegara hasta este punto de mi vida, para ellos siempre existirá mucho amor y agradecimiento.

A todos los familiares, amigos cercanos que siempre han estado a mi lado en las buenas y malas de este proceso, y aquellos que a pesar de la distancia siempre estuvieron para mí.

A ellos son los que deseo dedicar mi esfuerzo porque me permitieron subir un escalón más en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Deseo darle mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones quienes hicieron esto posible.

A mi director de tesis M Sc. Andrés Alpízar, quien día con día me apoyó y me permitió crecer como profesional.

A Eduardo Salas, por su ayuda y guía en el análisis estadístico de los datos de esta.

A Julio Vega, Andrés Oviedo, Elizandro y Deibi Gonzáles, quienes más allá de ser funcionarios me ayudaron durante mi trabajo de campo.

A Francisco Marín y Marvin Torres, miembros del MAG y la UTN respectivamente, quienes me aconsejaron, apoyaron y guiaron durante todo el proceso.

A FITTACORI ya que sin su aporte y apoyo económico este proyecto no se hubiera podido llevar a cabo.

A todos mis amigos que estuvieron presentes en este proceso de aprendizaje.

RESUMEN

Se evaluó como alternativa complementaria en la alimentación animal en Costa Rica, la implementación de forraje verde hidropónico (FVH) de maíz con grano comercial, para lo cual se evaluó la calidad nutricional del forraje producido con este sistema y su factibilidad económica. El módulo experimental del FVH se instaló en un invernadero en la Estación Experimental Fabio Baudrit de la Universidad de Costa Rica. Se evaluaron cuatro tratamientos: T1; testigo (SDC) con semilla certificada de maíz variedad Diamantes, T2; maíz Criollo Amarillo (MCA), T3; maíz Pico de Gallo (MCP) y T4; maíz Criollo Blanco (MCB). A excepción de la semilla certificada, los otros granos se adquirieron de productores de maíz. El diseño experimental que se empleó fue el de bloques al azar generalizado, donde cada uno de los cinco bloques contó con cuatro unidades experimentales por tratamiento. El FVH se cosechó a los 12 días de la siembra, cuando se evaluó altura de las plantas, producción de biomasa verde y seca (MS), la composición bromatológica y el costo por Kg MS/m² producido. Se obtuvo una alta germinación de los granos comerciales de maíz (superior al 91%, en todos los tratamientos). La altura promedio de las plantas de MCA, MCP y MCB, fueron respectivamente 24,0, 24,90 y 24,40 cm las cuales se diferenciaron ($P < 0,01$) de las plantas de semilla certificada SDC con 18,70 cm. La producción de biomasa (Kg MS/m²) fue de 1,07, 1,32; 1,54 y 1,25 para los tratamientos SDC, MCA, MCP y MCB, respectivamente, sin diferencias significativas. Los valores de proteína cruda (PC) fueron mayores en los materiales producidos con grano comercial de maíz (entre 15,16 y 17,20 %), respecto al tratamiento SDC (14,66%). No hubo diferencias ($P > 0,01$) entre tratamientos para la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) cuyo rango fue de 67,55 a 72,37%. Los contenidos de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) estuvieron por debajo del 40% en todos los tratamientos. El costo por Kg de MS alcanzó un valor entre los \$11,17 y \$2,13 entre los diferentes tratamientos, donde el menor costo productivo fue con grano comercial. Se concluye que la tecnología FVH se puede realizar con maíces criollos, con resultados productivos y calidad bromatológica aceptables a un menor costo por Kg de MS que usar semilla certificada de maíz.

ABSTRACT

As a complementary alternative for animal feeding in Costa Rica, it was implemented a hydroponic fodder (FVH) from commercial seed, for which it was evaluated the nutritional quality produced with this system and its economic feasibility. The experimental module of the FVH was installed in a greenhouse at the Fabio Baudrit Experimental Station of the University of Costa Rica. There were evaluated 4 treatment: T1; witness (SDC), T2; Maíz Criollo Amarillo (MCA), T3; Maíz Pico de Gallo (MCP) and T4; Maíz Criollo Blanco corn (MCB). Except for the certified seed, the other grains were acquired from corn producers. The experimental design used was random blocks, were each one of the five blocks had four experimental unities for the treatment.

The FVH was harvested at the 12th day from sowing, it was evaluated the height of the plants, the green and dry (MS) biomass production, and the cost for Kg MS/m² produced.

It was obtained a high germination from the commercial corn seeds (higher than 91% in each treatment). The average height of the MCA, MCP AND MCB were, respectively, 24,0; 24,90 y 24,40 cm, being different for ($P < 0,01$) from the certified SDC with 17.70 cm.

The biomass production (Kg MS/m²) was of 1,07; 1,32; 1,54 y 1,25 for the treatments SDC, MCA, MCP y MCB, respectively, with no significant difference.

The raw protein values (PC) were higher than the materials produced with commercial corn seed (between 15,16 y 17,20 %) compared to the SDC treatment (14,66%). There was no difference ($P > 0,01$) between treatments for digestibility of dry matter in Vitro (DIVMS) wich ranges from 67,55 to 72,37%.

The contents of neutral detergent fiber (FDN) and acid detergent fiber (FDA) were under 40% in every treatment.

The cost for Kg of MS reached between \$11,17 to \$2,13 for different treatments were the lowest cost was from the native corn.

It is concluded that the FVH technology can be done with native corn, and that the productive results and the bromatological quality are acceptable with a lower cost per Kg of MS, than using certified corn.

INDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo General	4
2.2 Objetivos Específicos.....	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1 El cambio climático y sus efectos en la ganadería	5
3.2 Producción de forraje en los trópicos.....	5
3.3 Alternativas para suplementar la alimentación animal.....	7
3.4 Importancia de la producción de FVH	8
3.5 Ventajas de la producción de FVH.....	10
3.6 Condiciones ambientales idóneas para la producción de FVH	11
3.7 El cultivo de maíz.....	11
3.7.1 Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de maíz.....	14
3.7.2 Manejo agronómico para la producción de maíz	15
3.8 Maíz para la producción de FVH	18
3.9 Producción de biomasa y calidad bromatológica del FVH de maíz.....	19
3.9.1 Indicadores de la composición bromatológica del FVH de Maíz	20
3.9.2 Materia seca (MS%).....	20
3.9.3 Proteína cruda (%PC).....	20
3.9.4 Fibra neutra detergente (%FDN).....	20
3.9.5 Fibra ácida detergente (%FDA)	21
3.9.6 Digestibilidad in vitro de la materia seca (%DIVMS)	21
3.10 Costos de producción del FVH	22
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
4.1 Ubicación y clima	24

4.3 Tratamientos experimentales.....	24
4.3 Diseño experimental.....	25
4.2 Instalaciones y equipo	26
4.4 Caracterización del manejo agronómico y las variables climáticas imperantes en las zonas de recolección del maíz criollo grano comercial.....	28
4.5 Procedimiento experimental.....	29
4.6 Variables a evaluar	31
4.6.1 Variables de producción del sistema	31
4.7 Análisis Estadístico	33
4.8 Valoración económica.....	33
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
5.1 Manejo agronómico del maíz grano comercial utilizado en la investigación.	35
5.2 Características climáticas imperantes en las zonas de producción del maíz criollo.....	38
5.3 Pruebas de germinación y concentración de aflatoxinas.....	40
5.3.1 Prueba de germinación	40
5.3.2 Concentración de Aflatoxinas.	41
5.4 Variables productivas.....	42
5.4.1 Altura.....	43
5.4.2 Rendimiento de Biomasa	45
5.5 Calidad nutricional de los tratamientos evaluados	48
5.5.1 Proteína Cruda.....	49
5.5.2 Fibra neutra detergente.....	51
5.5.3 Fibra ácido detergente	53
5.5.4 Digestibilidad in vitro de la materia seca (DVIMS).....	55
5.5.5 Ceniza.....	57
5.6 Valoración económica del FVH.....	58
6. CONCLUSIONES.....	60
7. RECOMENDACIONES.....	62
8. LITERATURA CITADA	63
9. ANEXOS	79

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Valor nutricional de FVH de maíz y otras fuentes forrajeras.....	19
Cuadro 2. Valores promedio de temperatura (máxima mínima y humedad relativa en la cámara de germinación y el módulo hidropónico durante el periodo experimental.	24
Cuadro 3. Características de los tratamientos experimentales.	25
Cuadro 4. Composición bromatológica de la solución nutritiva utilizada para la fertirrigación de los tratamientos experimentales.	29
Cuadro 5. Características del manejo agronómico que se implementó en cada una de las fincas donde se recolectó el maíz (grano comercial).....	35
Cuadro 6. Principales características climáticas presentes en cada zona de colecta de los materiales de maíz criollo (grano comercial) utilizadas para la producción de FVH.	39
Cuadro 7. Porcentaje de germinación según variedad de maíz criollo.	40
Cuadro 8. Concentración de Aflatoxinas totales según variedad de Maíz utiliza en la investigación.	41
Cuadro 9. Variables productivas, altura de planta, contenido de materia seca a 60°C, rendimiento de biomasa verde y seca según tratamiento experimental.....	43
Cuadro 10. Calidad nutricional del FVH según tratamientos experimentales.	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema que representa el diseño experimental y de la aleatorización de los tratamientos.	25
Figura 2. Estructura de metal con su sistema de riego, utilizada como módulo de producción de forraje verde hidropónico.....	26
Figura 3. Secciones del sistema de riego.....	27
Figura 4. Altura de las plantas de FVH según tratamiento experimental.....	43
Figura 5. Producción de biomasa verde y seca en Kg/m ² y porcentaje de materia seca según tratamiento experimental.	45
Figura 6. Contenido de proteína cruda (PC) según tratamiento experimental.	49
Figura 7. Contenido de proteína cruda (PC) en g/m ² según tratamiento experimental.	51
Figura 8. Contenido de fibra neutro detergente (FDN) según tratamiento experimental....	52
Figura 9. Contenido de fibra ácido detergente (FDA) según tratamiento experimental.	54
Figura 10. Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) según tratamiento experimental.	55
Figura 11. Contenido de cenizas según tratamiento experimental.....	57
Figura 12. Costos de producción por Kg de materia seca según tratamiento experimental	59

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Instrumento para la recolección de información sobre la semilla comercial.....	79
Anexo 2. Costo por Kg de materia seca del FVH	79
Anexo 3. Costo por Kg del FVH fresco.	80
Anexo 4. Costo por m ² del FVH fresco.....	80
Anexo 5. Forma de cálculo del Rendimiento en toneladas de Materia seca (MS).	80
Anexo 6. Prueba de Aflatoxinas.....	81
Anexo 7. Prelavado	81
Anexo 8. Bandejas para la producción de FVH.....	82
Anexo 9. Germinación maíz Pico de Gallo.....	82
Anexo 10. Primer Día del FVH en el Modulo	83
Anexo 11. Cuarto Día, FVH.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS

Siglas	Significado
A.O.A.C:	AOAC Internacional (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales)
B:	Borde
CaCl₂·6H₂O:	Cloruro de calcio hexahidratado
CINA:	Centro de Investigación en Nutrición Animal
cm:	Centímetros
CO₂:	Dióxido de carbono
°C:	Grados Celsius.
DIVMS:	Digestibilidad <i>In vitro</i> de la materia seca
ECA:	Escuela de Ciencias Agrarias
EEAFBM:	Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (Universidad de Costa Rica).
Eijk:	Error experimental.
FDA:	Fibra ácido detergente
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FITTACORI	Fundación para la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (MAG)
FDN:	Fibra neutro detergente
FVH:	Forraje Verde Hidropónico
Ha:	Hectárea
HR:	Humedad Relativa
HNO₃:	Ácido Cítrico
INA:	Instituto Nacional de Aprendizaje
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change
Kg:	Kilogramos
Kg MS/m²:	Kg de forraje en materia seca producidos por m ²
Kg/PF:	Kg de forraje en peso fresco

L:	Litros
m²:	Metros cuadrados
MCA:	Maíz Comercial Amarillo
MCB:	Maíz Comercial Blanco
MCP:	Maíz Comercial Pico de gallo.
mm:	Milímetros.
MS:	Materia seca
NaClO:	Hipoclorito de sodio
NPN	Nitrógeno no Proteico
PC:	Proteína Cruda
PE:	Polietileno
PSI:	Libra fuerza por pulgada cuadrada
PS:	Peso Seco
PVC:	Policloruro de vinilo
qq:	Quintales
R:	Repetición
SCD:	Semilla Certificada Diamante
T:	Tratamiento
T_k:	Efecto del tratamiento.
T^a:	Temperatura

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el clima se ha modificado en Costa Rica y el resto del mundo; según la FAO (2013) este cambio climático afecta la producción agropecuaria, en muchos casos de forma negativa y los productores no requieren apoyo cómo hacerle frente a este nuevo reto en sus unidades productivas.

En el trópico resulta difícil la producción de forrajes de calidad para la alimentación animal, debido a que las condiciones ambientales del entorno no son las más apropiadas. Las gramíneas tropicales presentan varias limitaciones nutricionales que restringen el comportamiento productivo y reproductivo de los rumiantes; entre estas se pueden mencionar, baja concentración energética, bajo contenido de proteínas y minerales, lo que provoca un desbalance en los productos finales de la digestión (Núñez 2009). Por tal motivo se debe recurrir a suplementos alimentarios para complementar dichas necesidades.

Según Sánchez (2002), la principal alternativa de suplementación utilizada en la actualidad son los alimentos concentrados; sin embargo, estos presentan un elevado costo debido a la importación de materias primas como, maíz, trigo, soya entre otras, y se vislumbra un futuro incierto a causa de su competencia con la alimentación humana y la utilización de cultivos como el maíz para la elaboración de biocombustibles. Otras alternativas han sido utilizadas en nuestro país, como es el caso de ensilajes, residuos agrícolas y ganaderos (banano, cerdaza, gallinaza, piña, yuca, etc.) residuos agroindustriales (cebada de cervecerías, coquito de palma aceitera, etc.) y el corte y acarreo de forrajes de gramíneas, arbóreas y arbustivas) (Mora 2009).

La utilización de árboles forrajeros en sistemas agroforestales como bancos de proteína utilizados mediante el sistema de corte y acarreo ha sido vista como alternativa tecnológica para mantener o mejorar la productividad animal y la sostenibilidad. En todos los casos existen ventajas y desventajas, en algunos casos los costos son muy altos, existe competencia y poca disponibilidad y en otros, se necesita de terreno adicional para su producción (Suárez 2012).

Ante ello, se hace necesario la búsqueda de nuevas alternativas que sean factibles para la suplementación, y una de ellas podría ser el uso del Forraje Verde Hidropónico (FVH), que

se obtiene como parte del proceso de germinación y crecimiento de semillas de especies con potencial forrajero, desarrolladas sin más sustrato que la aplicación continua de soluciones líquidas. Las raíces se entrelazan y el follaje se extiende formando una especie de alfombra, la cual es consumida en su totalidad por los animales (Torres 2013).

El FVH es una técnica de producción de alimento que utiliza entre 30 y 50 veces menos agua para producir los mismos rendimientos de las principales especies forrajeras cultivadas en suelo, pero en una superficie 100 veces menor y sin utilización de agroquímicos. El FVH posee el suficiente valor nutricional para considerarlo como un suplemento nutricional ideal para mantener al ganado vivo en temporadas de sequía severa e inundaciones (López 2011).

Según Ñíguez (2009), el FVH presenta una limitante para su uso como suplemento alimenticio en rumiantes, debido a su bajo contenido de materia seca, pudiéndose resolver esta carencia agregando materia seca proveniente de rastrojos de otros cultivos que pueden ser fáciles y baratos de conseguir.

Según Castro (2006), en Costa Rica la aplicación de la hidroponía se ha venido difundiendo especialmente en la producción de hortalizas y ornamentales bajo condiciones controladas, sin embargo, en ese momento existía poca información sobre el uso de esta tecnología para producir forraje para la alimentación animal, y algunas experiencias apuntaban a un alto costo de producción por el uso de semillas certificadas. Las semillas certificadas son muy caras y tienen agregados de sustancias químicas que pueden no ser aptas para el cultivo de forrajes, por otra parte, estas semillas certificadas son la última etapa en el proceso de multiplicación; generalmente se produce a partir de la semilla original y deben ser sembradas en parcelas aisladas bajo un estricto protocolo que respalda su producción.

Producto de estudios previos desarrollados por (Marín y Torres 2016) se estableció la posibilidad de usar semillas no certificadas o también llamadas grano comercial, que tienen un costo menor a las certificadas, se producen en zonas donde las condiciones ambientales aseguren un medio relativamente satisfactorio para su obtención, lo que las convierte en material difícil de conseguir.

Considerando esta necesidad y la importancia de disminuir el impacto del cambio climático, aumentando la resiliencia de los sistemas productivos surge el objetivo de esta investigación,

el cual es evaluar la calidad nutricional y la factibilidad económica de la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays L.*) empleando grano comercial desarrollado por los productores, como una alternativa complementaria en la alimentación animal en Costa Rica.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar la calidad nutricional y la factibilidad de la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) producido a base de grano comercial, como una alternativa complementaria en la alimentación animal en Costa Rica.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar el manejo agronómico implementado en el cultivo del maíz (grano comercial) en cada finca de recolección, así como las variables agroecológicas prevalentes en la región, para la identificación de aspectos relacionados con su calidad y respuesta en la producción de FVH.
- ✓ Determinar la productividad y la calidad nutricional del forraje verde hidropónico utilizando grano de maíz comercial para su fabricación.
- ✓ Realizar una valoración económica de la utilización del grano de maíz comercial para la producción de forraje verde hidropónico en condiciones de invernadero.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El cambio climático y sus efectos en la ganadería

Según Duarte (2006), el cambio climático se define como la modificación del clima mundial atribuida a las actividades humanas. Aunque siempre ha habido cambio climático, antes de la era industrial este era más lento, ya que en los últimos años se ha incrementado la quema de combustibles fósiles, para el desarrollo de las actividades humanas, lo que genera CO₂, que es el más abundante Gas de Efecto Invernadero.

El Cambio climático puede repercutir en el bienestar animal, la intensidad de los eventos meteorológicos extremos, como las inundaciones que se dan en la zona atlántica del país, las sequías que se producen en la Región Chorotega disminuyen el crecimiento y producción de forrajes afectando de forma directa la productividad del ganado, esto ocasiona que alcanzar el peso adecuado en la ganadería de carne para la venta de animales se hace muy difícil (IPCC 2007).

Según Abarca (2013), el cambio climático puede influir sobre la ganadería en la reproducción, el metabolismo y la sanidad animal, debido a respuestas diferenciales como consecuencia del clima.

En las zonas tropicales húmedas, la radiación solar incidente sobre la superficie del suelo también se trastorna, alterando su comportamiento natural, lo cual puede manifestarse, por ejemplo, con mayores variaciones interanuales sobre los pastos limitando la alimentación animal (Piqueras 2007).

3.2 Producción de forraje en los trópicos

Según Núñez (2009) en los países en desarrollo, el principal recurso de alimentación empleado por los sistemas de producción animal es el forraje. El pastoreo de gramíneas forrajeras tipifica los sistemas de producción en el trópico. Sin embargo, las gramíneas tropicales presentan varias limitaciones nutricionales que restringen el comportamiento productivo y reproductivo de la población animal; entre estas pueden resaltar, baja concentración energética, bajo contenido de proteínas y minerales, lo cual causa un desbalance en los productos finales de la digestión.

Una alternativa para aminorar las limitaciones de los pastos y satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales, especialmente en las etapas productivas como producción de leche y crecimiento temprano, es el uso de suplementos alimentarios (como los alimentos balanceados). No obstante, debido a las condiciones climáticas y de suelo de muchas regiones tropicales, hay poca aptitud para la producción de granos básicos para la suplementación animal, por lo que se ha incurrido a la importación de grandes volúmenes de sorgo, maíz y soya, como las principales fuentes energéticas y proteicas para la alimentación animal, ocasionando esto dependencia externa y fuga de divisas (Gallardo 2010).

Según Rojas (2013), los avances tecnológicos en materia de nutrición han generado nuevas formas de alimentación para los bovinos, tanto de tipo cárnico como lechero, con el fin de satisfacer la siempre creciente demanda de carne y leche. Por consiguiente, los sistemas de producción bovina tienen que enfocarse sobre este aspecto fundamental del proceso. Las nuevas formas de alimentación se basan en el uso masivo de alimentos concentrados que se integran a las dietas en las diferentes etapas del ciclo productivo y con diferentes propósitos.

Con la inclusión de los concentrados en la dieta bovina se han podido alcanzar niveles de eficiencia productiva muy elevados, siendo particularmente notable el impacto en ganado lechero. No obstante, las bondades de este enfoque, también se han generado un buen número de problemas por sus costos tan altos; y para los animales en virtud de las presiones a que son sometidos por el hombre y que llevan a los animales hasta su límite metabólico, derivando esto en enfermedades que inciden en la producción (Rojas 2013).

El precio de los alimentos concentrados está sujeto a los precios de producción y de comercialización de los cereales y leguminosas utilizados para su elaboración. Estos precios están sujetos a la volatilidad de los precios del petróleo, por ende, sus subproductos como los fertilizantes de urea varían con tendencias al alza, aumentando al mismo tiempo los precios de los alimentos. La industria de la alimentación animal es afectada directamente por la variación de estos precios de materia prima aumentando costos de producción (Ochoa 2011).

Según Tobia *et al* (2004), la alimentación representa alrededor del 56 al 60 % de los costos totales de la producción de leche (de origen bovino) en Costa Rica, siendo el 82% de estos, la suplementación. Está problemática, como la estacionalidad en la producción de forrajes en

el trópico, pone en evidencia la necesidad de buscar fuentes alternativas de recursos para la alimentación animal, que permitan una mayor capacidad competitiva de la producción pecuaria. Asimismo, el frecuente anegamiento de los terrenos por exceso de precipitaciones limita por períodos prolongados la disponibilidad de forraje por parte de los animales causando en general, alta mortalidad y pérdidas de peso o de producción.

3.3 Alternativas para suplementar la alimentación animal

En la explotación ganadera de Costa Rica se han venido empleando, al igual que en otros países tropicales, las gramíneas naturales y/o naturalizadas como fuente de alimentación, debido a las condiciones climatológicas ya su uso es tradicional entre ganaderos. Para complementar esta fuente de alimentación se ha venido trabajando con alimentos concentrados para satisfacer así los requerimientos nutricionales del rebaño, el suministro de este suplemento se emplea para compensar algunos elementos nutritivos esenciales que las gramíneas en general no poseen la habilidad de proporcionar, bien por factores intrínsecos de la planta o extrínsecos del medio agroecológico existente (Sánchez 2009).

De acuerdo con Sánchez (2009), la obtención de fuentes proteicas es sumamente costosa en la actualidad; en tal sentido, se ha venido trabajando en la búsqueda de alternativas que resulten económicas y viables, ya que prescindir de este componente nutritivo en sus niveles adecuados desfavorece significativamente la producción ganadera, entre esas alternativas están, las leguminosas que son especies capaces de sintetizar altos niveles de proteínas, con una menor tasa de disminución de este componente con la edad de la planta. Por su gran diversidad las leguminosas se pueden encontrar en condiciones naturales o cultivadas.

Por otro lado, se encuentran los árboles y arbustos forrajeros, los cuales representan una alternativa para disminuir el uso de concentrados en la dieta animal. Se ha señalado que el uso de los sistemas integrados de producción (silvopastoril y agrosilvopastoril) son opciones productivas eficientes debido a su competitividad frente a los sistemas monoespecíficos o especializados (forestal, ganadería, agricultura) (Kichel 2012).

La utilización de árboles y arbustos forrajeros está motivada, entre otros aspectos, por la adaptación de especies a regiones con presencia de épocas con sequías prolongadas y con baja oferta de gramíneas. Muchas especies son comestibles por los animales y están

disponibles naturalmente en las fincas, ofrecen follajes o frutos de razonable calidad, bajo costo de producción de alimento, reducción de los costos de producción por la disminución en el uso de productos químicos para el control de malezas, conocimiento local de productores sobre plantas consumidas en pastoreo, uso de la biodiversidad y además son fuente de proteína, energía, minerales y vitaminas. Generalmente, el uso de estas especies forrajeras se realiza en forma de pastoreo permitiendo el ramoneo de los animales o en corte y acarreo (Roncallo 2013).

Al elaborar un banco de proteína, como es el caso de leguminosas, árboles y arbustos forrajeros, siempre se presentan limitaciones a la hora implementarlo en un sistema pecuario (Sánchez 2009).

Según López (2011) al establecer un banco de proteínas se presentan ciertas desventajas, por ejemplo, la competencia entre arboles forrajes con el pasto (nutrientes, luz y agua). La presencia de toxinas en algunas especies (*Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Erythrina berteroana*, entre otras), es decir sustancias que provocan una reacción desfavorable en la digestión al punto de intoxicar gravemente; otra problemática es la pérdida de hojas de algunos árboles forrajeros en época seca, lo cual disminuye su aprovechamiento.

Al final se debe analizar muy bien si se pretende implementar este tipo de alternativas tomando en cuenta el costo del establecimiento, el aumento de mano de obra que se va a dar por el corte y acarreo y otras labores, y el tiempo de más que se debe invertir en mantener de forma adecuada en el campo estos suplementos alimenticios.

3.4 Importancia de la producción de FVH

Frente a los grandes problemas que enfrenta la producción pecuaria tradicional, como la escasez de agua, disponibilidad de nuevas tierras cultivables, el cambio climático, suelos erosionados y encontrar índices cada vez mayores de contaminación; hacen de la producción de alimentos por medio de la hidroponía y los cultivos sin suelo, parte de la agricultura protegida (Rodríguez 2007).

Estos se convierten en una opción viable para hacer frente a las necesidades cada vez más grandes de la producción agropecuaria, tanto para la alimentación de la población, como la

de los animales; debido a que los cultivos protegidos son menos vulnerables a los cambios de clima, permitiendo producir cosechas fuera de temporada con ahorros considerables por el uso a menor escala de fertilizantes y agroquímicos (Juárez 2011).

La importancia de la hidroponía radica que es un sistema de producción agrícola, vinculando aspectos económicos, ecológicos y sociales; por ser una herramienta útil en los lugares donde es difícil la producción de alimento. El FVH representa una alternativa de producción para la alimentación de caballos de carrera, cabras corderos, terneros, vacas en ordeño; entre otros animales domésticos y es especialmente útil durante períodos de escasez de forraje verde (Oliveira 2008).

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. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo (FAO 2013).

Las ventajas del FVH, son las siguientes: una producción programada de acuerdo con las necesidades es de alta digestibilidad, se puede producir en cualquier clima y época con invernaderos, bajo costo de producción comparado con el cultivo normal, producción en espacios reducidos, alta palatabilidad, reduce mano de obra para su manejo, bajo en contaminantes y alto contenido proteico. El tiempo que se requiere para obtener un alimento adecuado, va de siete a quince días, tiempo muy corto en relación con el cultivo tradicional como es el caso del maíz, el cual requiere de 142 días en promedio (Elizondo 2002).

El FVH puede producirse utilizando una amplia variedad de unidades hidropónicas, en donde se colocan hasta seis bandejas en estantes uno sobre el otro; dejando un espacio de al menos 30 cm y producir todo el año. El mismo espacio puede producir seis veces más, de acuerdo con el número de pisos; y de 30,00 a 36,50 veces de acuerdo con el tiempo de producción. En 100 m² bien pueden producirse hasta 500 Kg de FVH diariamente (Rivera 2010).

El FVH es un alimento que presenta una alta palatabilidad para cualquier animal y excelente valor nutritivo. Gran número de experimentos y experiencias prácticas comerciales han demostrado que es posible sustituir parcialmente la materia seca que aporta el forraje

obtenido mediante métodos convencionales, así como también aquel proveniente de granos secos o alimentos concentrados por su equivalente en FVH (Ureña 2010).

Según Ureña (2010), el FVH ha demostrado ser una excelente fuente de proteína y vitaminas, se puede producir todo el año, y se genera en un rápido proceso –entre diez y quince días- y podría presentar una relación de producción máxima de hasta 1:25 (25 Kg de forraje fresco verde por cada kilogramo de semilla, según especie); un área de producción de 100 m² puede generar alimento para 25 animales, comparada con 250 000 m² en un sistema normal, ya que logran producciones superiores a 5 TM de MS en un mes.

Por otra parte, el forraje contiene elevadas cantidades de selenio y vitamina E, que son elementos muy relacionados con la reproducción animal, lo que favorece acortar los periodos abiertos y edad al primer parto, logrando obtener una producción de leche constante todo el año y para el desarrollo de rumen de terneras, con el propósito de aumentar la eficiencia de este, con mejoras en la convertibilidad hacia la producción de leche y carne (Reinoso 2009).

Los resultados de las experiencias realizadas en la producción de FVH han sido exitosos, sin embargo, la implementación de esta tecnología no habría logrado despegar debido principalmente a factores de costos y al desconocimiento en su desarrollo (Castro 2006).

3.5 Ventajas de la producción de FVH

Según Vázquez (2014), existen una serie de ventajas en la producción de FVH al compararlas con un sistema de producción de forraje en condiciones de campo, entre las que se pueden mencionar:

- ✓ Se produce en reducido espacio.
- ✓ Se requiere poca agua. En un sistema de producción de FVH el agua utilizada es recirculada, realizando riegos de sólo 3 minutos diarios.
- ✓ Aumento en la producción, contenido de grasa y sólidos totales de la leche de vacas en pastoreo.
- ✓ Mejora la condición corporal del animal, reducción de los días vacíos, menor incidencia de mastitis y menor retención de placenta

3.6 Condiciones ambientales idóneas para la producción de FVH

La luminosidad es indeseable durante la germinación de las semillas, sin embargo, es importante mantener una luz tenue desde la germinación hasta el tercer o cuarto día en adelante, la luz debe ser bien distribuida, pero sin llegar a ser directamente del sol; o sea, requiere una intensidad lumínica de 1000-1500 microwatts/cm² durante 12-14 horas diarias, además la luz estimula el desarrollo de la plántula y evita que se consuman las materias de reserva del grano, aumentando el valor nutritivo del FVH (Rivera 2010).

La temperatura influye en la germinación de la semilla, ya que, a mayor temperatura, habrá una mayor absorción de agua y evaporación. Si este parámetro es muy variable, se verá reflejado al momento de la cosecha. La temperatura, por otro lado, debe mantenerse dentro del rango óptimo de 18-26°C para una adecuada producción de FVH. Asimismo, para la germinación el rango oscila entre 18-21°C, con diferentes requerimientos según la especie (Sánchez 2002). Sin embargo, estudios realizados por Marín y Torres (2016) lograron buenos rendimientos de FVH en condiciones ambientales diferentes a las descritas por Sánchez (2002).

Según Fernández (2012), el agua es el factor más importante en la vida de las plantas. La humedad que necesita la planta se le proporcionara mediante el riego. El rango óptimo de la humedad relativa oscila entre 60 y 80%.

Con una humedad relativa mayor al porcentaje mencionado, existe el riesgo que proliferen las enfermedades por hongos. Para lograr una humedad en estos rangos, lo ideal es trabajar dentro de un invernadero con anaqueles y con un sistema de riego por aspersión o por nebulizado.

3.7 El cultivo de maíz

El maíz es originario de Mesoamérica y existen varios centros de diversidad a lo largo de la cordillera de los Andes. Desde México hasta la Región Andina de América del Sur, el maíz es una fuente de alimento esencial, en particular en zonas rurales, donde el acceso a tecnología y variedades mejoradas es limitado. Durante la selección y transformación (domesticación), que iniciaron los indígenas americanos hace más de 8000 años, el maíz cultivado ganó varias cualidades nutricionales, pero perdió la capacidad de sobrevivir en

forma silvestre. El Teosinte (su ancestro), sin embargo, aún se encuentra como gramínea salvaje en México y Guatemala (Serratos 2009).

Existe una amplia diversidad genética en toda la región que ha sido centro de origen del maíz. En México solamente, existen más de 40 razas de maíz, y unas 250 en el resto de América. A fines del siglo XV el maíz fue introducido en Europa, donde se convirtió en un factor clave de la alimentación humana y animal. Debido a su gran productividad y adaptabilidad, se extendió rápidamente a lo largo de todo el planeta, y hoy se desarrolla en todos los continentes, donde ocupa la tercera posición en cuanto a producción total de cereales, detrás del arroz y el trigo (Cárcamo 2011).

Estas variedades fueron evolucionando gracias a la selección realizada por las distintas civilizaciones americanas. Sin embargo, gracias a los avances en el conocimiento de su genética, fue posible desarrollar líneas (genéticamente uniformes) con características particulares, a partir de las cuales los mejoradores lograron construir semillas híbridas, con cualidades superiores (Gear 2012).

El maíz es el cereal que más importancia ha tenido en varios sectores de la economía a escala mundial durante el siglo XX y en los inicios del XXI. En los países industrializados, el maíz se utiliza principalmente como forraje, materia prima para la producción de alimentos procesados y, recientemente, para la producción de etanol. Por el contrario, en algunos países de América Latina y, cada vez más en países africanos, un gran porcentaje del maíz que se produce o importa se destina al consumo humano (Cajamarca 2016).

En este sentido, el maíz ha sido y sigue siendo un factor de sobrevivencia para los campesinos e indígenas que habitan en la mayoría de los países del continente americano. Resulta paradójico que los pobladores de las comunidades marginadas sean los guardianes de la diversidad del maíz, ya que cada vez se destinan menos recursos económicos a esas comunidades. Esta situación pone en riesgo esas valiosas semillas porque los estudios e investigaciones realizados durante años, desde diversas disciplinas científicas y humanísticas, comprueban que el papel del campesino es importante para la conservación y diversificación del maíz (Avalos 2012).

Los programas de investigación y desarrollo para la conservación *in situ* del maíz son muy restringidos y no se han generalizado a regiones importantes con gran concentración de grupos étnicos y campesinos. En la actualidad, la conservación en bancos de germoplasma de maíz o conservación *ex situ* es la estrategia dominante porque está ligada a la trayectoria tecnológica de los países desarrollados y además porque las restricciones financieras de muchos países menos desarrollados no permiten la implementación de la conservación *in situ*. Se prevé que, en pocos años, el descuido y la falta de atención a las comunidades rurales en las que se encuentra el mayor porcentaje del germoplasma nativo podrían impactar negativamente la diversidad del maíz (Boege 2013).

También se anticipa que las políticas públicas que promueven tecnologías intensivas en capital y que expulsan el trabajo hacia las zonas urbanas o el extranjero, determinarán la tasa a la que se estarían extinguiendo los recursos genéticos del maíz. El riesgo de perder la diversidad del maíz es muy alto. Las condiciones económicas de marginación y pobreza que enfrentan los campesinos, como ya es evidente en muchas regiones de América, llevarán a la extinción generalizada de la diversidad del maíz. Una manera de aliviar esta situación es revalorar el cultivo a través del conocimiento de su origen y diversificación en el continente americano (Guerrero 2014).

Por la persistencia de los aproximadamente 300 genotipos de maíz en el continente, podemos afirmar que la cultura indígena-campesina en las comunidades de los pueblos originarios y, posteriormente, junto con los agricultores mestizos y criollos, fue un factor fundamental para la supervivencia de sus culturas y la diversidad del maíz. En otras palabras, el maíz constituyó el soporte de la resistencia indígena durante más de 500 años, después de la destrucción de sus formas de vida ancestrales (Mapes 2009).

El maíz y los pueblos indígenas y campesinos han tenido desde entonces, y tienen hasta ahora, una relación muy estrecha que ha convertido a los campesinos en guardianes de esa riqueza genética. Por ejemplo, al revalorar la agricultura tradicional indígena de México, presenta la asociación entre los pueblos indígenas que existen en la actualidad y la diversidad del maíz que poseen cada uno de estos grupos étnicos (Dávalos 2012).

3.7.1 Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de maíz

Según Ríos (2015), el maíz es una planta dotada de una amplia capacidad de respuesta a las oportunidades que ofrece el medio ambiente, y tiene alto nivel de respuesta a los efectos de la luz. Actualmente, existen diversidad de cultivares útiles para su cultivo bajo condiciones naturales muy distintas de las propias de su hábitat original. El maíz posee buen desarrollo vegetativo que puede alcanzar hasta los 5 metros de altura en altitudes superiores a los 1,000 metros sobre el nivel del mar (msnm).

En el caso de Costa Rica el área y la producción nacional han sufrido una disminución desde la cosecha 70/71 donde el área fue de 43,466 hectáreas y una producción de 61,528 toneladas métricas con un rendimiento de 1,42 toneladas métricas, comparada con la cosecha 2005/06 donde el área fue de 6,95 hectáreas y producción de 13,28 Toneladas métricas y un rendimiento de 1.83 toneladas por hectárea (Estrada 2014).

Según Cubillos (2010), el mayor descenso de la producción se dio a partir de la cosecha 90/91 donde el área de siembra fue de 38,43 hectáreas y la producción de 66,49 toneladas métricas con un rendimiento de 1,73 toneladas por hectárea. Esta disminución fue ocasionado por los 19 programas de ajuste estructural y el cierre de compras de granos básicos por parte del Consejo Nacional de la Producción.

El maíz, en general, crece bien en suelos con pH entre 5,50 y 7,80. Fuera de estos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos y se produce toxicidad o carencia. Cuando el pH es inferior a 5,5 a menudo hay problemas de toxicidad por aluminio y manganeso, además de carencia de fósforo y magnesio; con un pH superior a 8 (o superior a 7 en suelos calcáreos), tiende a presentarse carencia de hierro, manganeso y zinc. Los síntomas en el campo, de un pH inadecuado, en general se asemejan a los problemas de deficiencia de micro nutrimentos (Flores 2014).

La falta de agua es el factor más limitante en la producción de maíz en las zonas tropicales. Cuando hay estrés hídrico o sequía durante las primeras etapas (15 a 30 días) de establecido del cultivo puede ocasionar pérdidas de plantas jóvenes, reduciendo así la densidad poblacional o estancar su crecimiento. Sin embargo, el cultivo puede recuperarse sin afectar seriamente el rendimiento (Ríos 2015).

Cerca de la floración (desde unas dos semanas antes de la emisión de estigmas, hasta dos semanas después de ésta) el maíz es muy sensible al estrés hídrico, y el rendimiento de grano puede ser seriamente afectado si se produce sequía durante este período. En general, el maíz necesita por lo menos de 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo. El maíz es muy sensible también al aniego o encharcamiento; es decir, a los suelos saturados y sobresaturados (Avendaño 2008).

Desde la siembra, factores edafoclimáticos cultivares recomendados hasta aproximadamente los 15-20 días, el aniego por más de 24 horas puede dañar el cultivo (especialmente si las temperaturas son altas) porque el meristemo está debajo de la superficie del suelo en esos momentos. Más tarde, en el ciclo de cultivo, el aniego puede ser tolerado durante períodos de hasta una semana, pero se reduce considerablemente el rendimiento (Alarcón 2012).

3.7.2 Manejo agronómico para la producción de maíz

Según Estrada (2014) en Costa Rica el principal sistema de manejo se conoce como siembra a espeque o macana. Se utilizan distancias de siembra de 75 cm entre surcos y 25 cm entre plantas a una semilla por golpe, y también distancias de siembra de 75 cm entre surcos y 50 cm entre plantas (espeque), 2 a 3 semillas por sitio de siembra. Profundidad de semilla 3-5 cm (de acuerdo con el tipo de suelo).

Épocas de siembra

En regiones como la Brunca se utilizan dos épocas de siembra: la primera entre mayo y junio y la segunda en el mes de octubre (Galileo 2014). En el valle central se utiliza una única época de siembra, esta última normalmente entre los meses de mayo y junio.

Preparación de Suelo:

Labranza mínima o cero: se aplica un herbicida de contacto (Paraquat) o sistémico (Glifosato) para eliminar malezas, 15 días antes de la siembra. Si las malezas tienen más de un metro de altura se debe realizar una chapia y luego aplicar herbicida a los rebrotes. Hay algunas variantes de acuerdo con la época de siembra y al estado de las malezas en lo que es la combinación de Glifosato y Paraquat (Cruz 2013).

Fertilización

Según (Martínez 2010) el maíz, como todo cultivo requiere de suelos con profundidad adecuada y buena fertilidad natural para desarrollarse y producir de acuerdo con su potencial genético. Si queremos conocer la fertilidad natural del suelo se requiere que el productor tome una muestra de suelo de su terreno y la remita a un laboratorio para su respectivo análisis fisicoquímico, el laboratorio indicara al productor, el tipo de fertilizante comercial, la dosis y épocas de aplicación más adecuadas para las condiciones propias de su terreno. Aunque existen especificaciones que indican una dosis general de nitrógeno, fosforo y potasio.

Plagas comunes y su control

Hay una cantidad de insectos que se encuentran en el suelo y se alimentan de las semillas, raíces y tallos tiernos, impidiendo con esto que las plantas se desarrollen normalmente, ocasionando densidades de población inadecuadas de plantas por área. Entre los insectos más comunes en el suelo están: Gallina ciega (*Phyllophaga spp.*) gusano cuerudo (*Agrotis spp*) gusano alambre (*Aeolus spp*), escarabajos, nemátodos y áfidos de las raíces. La gallina ciega se encuentra causando daño económico en todos los suelos que se usan para sembrar el maíz y otros cultivos (Méndez 2016).

Antes de sembrar es importante la realización de muestreos para determinar la presencia de plagas en el suelo. Después de la preparación del suelo, se debe realizar cinco muestreos distribuidos al azar por manzana, se hacen agujeros con las siguientes dimensiones: 30 cm. de ancho, 30 cm. de largo y 20 cm de profundidad. La tierra recolectada se distribuye en una manta blanca para contar las larvas presentes. El nivel crítico para gallina ciega es de tres larvas grandes o cinco larvas pequeñas en los cinco sitios. Se recomienda tomar acciones de control químico antes de la siembra (Calzada 2015).

Según (Miss 2014), las medidas de control antes de la siembra son:

- Preparación del suelo 15 o 30 días antes de la siembra. Es una buena medida para eliminar los huevos, larvas y pupas. Estos son maltratados y expuestos al sol y a enemigos naturales especialmente pájaros, hormigas y otros depredadores.

- La destrucción de las malezas, zacates y plantas hospederas o un periodo libre de plantas antes de sembrar eliminar las larvas jóvenes.
- La rotación de cultivos con leguminosas de cobertura ayuda a reducir las poblaciones. Las prácticas de labranza cero ayudan a controlar las larvas.
- En la época de vuelo de los adultos en las primeras lluvias, el adulto ronrón o mayate es atraído por la luz en la noche. La colocación de trampas de luz, para atraerlos durante la noche. Se puede utilizar candiles, fogatas, candelas y otros, sostenidas en un trípode o tabla, poniendo en el suelo un recipiente de agua jabonosa donde caen los adultos.
- Cuando el número de larvas es igual o supera el nivel crítico; se deben hacer controles en la siembra.
- Tratar la semilla con insecticidas para protegerla durante el periodo de germinación.
- Aplicación de insecticidas granulados al suelo en los surcos al momento de la siembra.
- Aumentar la densidad de la siembra

Control de malezas

El control de malezas es uno de los factores que mayor influencia tiene en el rendimiento final del cultivo. Se entiende mediante la aplicación de una serie de prácticas agronómicas utilizadas para reducir al mínimo la competencia que las malezas ejerzan sobre el cultivo y la calidad de éste. Para recomendar el método más adecuado en el control de malezas en cada caso particular es necesario conocer el ciclo de vida, hábito de crecimiento, agresividad de cada una de las plantas acompañantes del cultivo (Cepeda 2015).

Control de enfermedades

En el cultivo de maíz el combate de enfermedades se hace en forma preventiva a través del mejoramiento genético. Combate a través de algunas medidas culturales como: rotación de cultivos, fertilización y uso de coberturas. Entre las prácticas culturales más utilizadas según Vergara (2016) para controlar las enfermedades están las siguientes:

- Destruir los tallos y mazorcas infectadas por la enfermedad.
- Proporcionar al cultivo un buen balance de nutrientes.
- Utilizar semilla de variedades con buena cobertura de mazorca.

- Mantener limpio el cultivo para reducir la humedad relativa alrededor de la planta.
- Evitar cosechas demasiado tardías.

Cosecha

La cosecha se realiza normalmente cuando el grano presenta el punto negro, indica que ha llegado a la madurez fisiológica y presenta de un 20 a 25 % de humedad del grano, esto indica que se puede cosechar. La cosecha de maíz se debe hacer después de la madurez fisiológica del grano, seguros de que el maíz tiene el grado de humedad adecuado para cosecharse. Cuando hay problemas para el secado, el productor recurre a la práctica del doblado que le permite disminuir la humedad y minimizar los daños ocasionados por pájaros (Martínez 2014).

Almacenamiento

Para realizar un almacenamiento adecuado de los granos de maíz se recomiendan construcciones adecuadas para que logren mantener a salvo el maíz. Un mal almacenamiento provoca la pérdida de peso, calidad y valor nutritivo del grano, consecuentemente también pérdida de dinero. Para la próxima producción se debe utilizar semilla seleccionada de los campos que estén libres de la contaminación con plagas (Calzada 2015).

Secado y limpieza del grano

Es un paso muy importante para evitar daños, principalmente de hongos e insectos. La humedad para almacenar el grano es de 12 %. Es importante eliminar impurezas en el grano tales como restos de olotes, tuzas, hojas y tallos, ya que pueden ser portadores de hongos de insectos (Martínez 2014)

3.8 Maíz para la producción de FVH

En la mayoría de los casos el grano de maíz (*Z. mays*) es el más utilizado para la producción de FVH, y la calidad de semilla es un factor de gran importancia. La semilla debe tener un porcentaje de germinación entre 80 y 90%. En la producción de FVH se dice que el grano de maíz permite alcanzar una mayor producción de biomasa libre de hongos, el cual es el

principal problema que enfrenta al productor que inicia con el sistema de FVH (Rodríguez 2002).

3.9 Producción de biomasa y calidad bromatológica del FVH de maíz.

Según Ureña (2010) la conversión de semilla de maíz a forraje verde puede tener una relación de 1 a 12, sin embargo, esta relación depende de los controles y de la calidad de la semilla, entre otros factores, el material vegetal de maíz hidropónico podría alcanzar una altura de 20 centímetros con una edad de cosecha entre los 18 y 20 días.

Según Marín y Torres (2016), cuando desarrollaron el proyecto “Validando la tecnología de producción de Forraje Verde Hidropónico con maíz”, se logró obtener una altura de 22,33 centímetros con una densidad de siembra de 3,00 Kg/m²

Según López (2013) al estudiar en un invernadero no tradicional los efectos de tres tipos de fertilizantes (12-30-10, Urea 46%, 15-15-15) en la producción de FVH de maíz (*Z. mays*) variedad NB6, encontró una producción de biomasa de 17,65 Kg/m² peso fresco y de 4,56 Kg de MS/m², con una altura de plantas de 26, 51 cm.

Cuando se analiza la calidad nutricional del FVH encontramos que este es un material de alta calidad, superior a otros forrajes, como se puede observar en el cuadro 1, este material se puede ofrecer al ganado en forma completa (hojas, tallos, semillas y raíces). Una de las mayores ventajas es que su aspecto, sabor, color y textura le confieren gran palatabilidad (Carballido 2005).

Cuadro 1. Valor nutricional de FVH de maíz y otras fuentes forrajeras.

Atributo Nutricional	FVH de maíz	Forraje de alfalfa	Maíz forrajero
Proteína %	19,40	18,40	8,80
Energía TDN %	75,00	60,00	70,00
Grasa %	3,15	2,14	1,90
Digestibilidad %	90,00	65,00	60,00

Fuente: Carbadillo (2005).

La factibilidad del sistema de producción de FVH depende del rendimiento de la productividad, la cual se puede cuantificar por medio del peso fresco por unidad de área y el

contenido de materia seca, así como otros indicadores de composición nutricional (Ureña 2010).

3.9.1 Indicadores de la composición bromatológica del FVH de Maíz

Para el uso de los diferentes materiales vegetales como forrajes en la alimentación animal es importante tener en cuenta los principales parámetros de composición bromatológica, estos análisis nos permiten saber si el material es adecuado para ser utilizado en la alimentación animal.

Según Di Marco (2011), los principales indicadores para determinar la calidad nutricional de los forrajes son: materia seca (%MS), proteína cruda (%PC), fibra neutra detergente (%FDN), fibra ácida detergente (%FDA), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (%DIVMS), y las cenizas (%).

3.9.2 Materia seca (MS%)

El porcentaje de materia seca se refiere a la cantidad de alimento menos el agua contenida en dicho alimento, en otras palabras, si una muestra de FVH se somete a un calor moderado (típicamente 65°C por 48 horas) de tal modo que toda el agua se evapore, lo que queda es la porción de materia seca de ese alimento (Ramírez 2011).

3.9.3 Proteína cruda (%PC)

La proteína cruda es denominada “cruda” ya que no es una medición directa de la proteína sino una estimación de la proteína total basada en el contenido de nitrógeno del forraje (nitrógeno x 6,25 = proteína cruda). La proteína cruda incluye la proteína verdadera y el nitrógeno no proteico (NPN) tales como el nitrógeno ureico y el amoniacal (García 2003).

Según García (2003), el valor de PC no suministra información acerca de la composición de aminoácidos, la digestibilidad intestinal de la proteína o cuan aprovechable es en el rumen.

3.9.4 Fibra neutra detergente (%FDN)

El total de la fibra de un forraje está contenido en la FDN o “paredes celulares”. Esta fracción contiene celulosa, hemicelulosa, y lignina. El porcentaje de FDN suministra la mejor estimación del contenido total de fibra en un forraje y está estrechamente relacionado con el

consumo de alimento. Al aumentar los valores del FDN, el consumo total de alimento disminuye. Las gramíneas contienen más FDN que las leguminosas comparadas a un estado similar de madurez (Navarro 2016).

Meza, (2005), en un trabajo realizado con forraje verde hidropónico de maíz reporta valores de FDN entre 39 y 41%.

3.9.5 Fibra ácida detergente (%FDA)

La FDA está compuesta de celulosa, lignina y sílice. Está estrechamente relacionada con la fracción no digestible del forraje y es un factor muy importante en el cálculo del contenido energético del alimento (Acosta 2016).

Vargas (2008) trabajó en la comparación productiva de FVH de maíz, arroz y sorgo negro forrajero, donde en promedio obtuvo 18,89 % de FDA de maíz.

3.9.6 Digestibilidad in vitro de la materia seca (%DIVMS)

Esta variable es un indicador del aprovechamiento que podrá hacer el animal del alimento que consume, ya que el animal disminuye el consumo de forrajes que son poco digestibles (Vargas 2008).

La DIVMS representa una variable muy importante para determinar la porción aprovechable de los nutrientes en el FVH. Se considera que un forraje tiene alta calidad cuando tiene aproximadamente 70% de digestibilidad de la materia seca (DIVMS), menos de 50% de FDN y más de 15% de proteína. Por lo contrario, en un forraje de baja calidad la DIVMS disminuye a menos del 50%, la FDN sube a más del 65% y la proteína baja a menos del 8% (Marco 2011).

La DIVMS en forrajes hidropónicos es alta en comparación a otros forrajes convencionales debido que la mayoría suelen ser muy fibrosos. En estudios realizados por López (2009), se reportaron valores de DIVMS en FVH de maíz de 64,30%, 66,50% y 66,70% al evaluar tres densidades de siembra 1,50; 2,00 y 2,50 Kg semilla/m², respectivamente.

3.9.7 Cenizas (%)

La ceniza es el residuo remanente luego que toda la materia orgánica presente en una muestra es completamente incinerada, por lo tanto, cenizas = materia total - materia orgánica. La ceniza está constituida por la materia inorgánica (o minerales) del ensilaje, así como los contaminantes inorgánicos, tales como la tierra y arena (Espinoza 2016).

Caballo (2011), durante el desarrollo del procedimiento para granos hacia la alimentación animal en maíz hidropónico, reportó 1,84% para cenizas.

3.10 Costos de producción del FVH

Uno de los aspectos que no ha permitido el desarrollo de esta tecnología de forma más acelerada son los costos de producción, algunos de los estudios realizados indican que esta tecnología es de alto costo, principalmente influenciada por el precio de las semillas certificadas que se utilizan.

Según Ramírez (2017), la producción de FVH utilizando semilla certificada de maíz Diamantes es una técnica que permite obtener de una manera rápida forraje fresco, sano, limpio y de alto valor nutritivo, para alimentar a sus animales en cualquier época del año, pero con un costo relativamente elevado.

Sin embargo, existen otros autores como Rodríguez (2003), quien realizó un análisis de costos de la producción de FVH y considera que es una alternativa económicamente viable que merece ser considerada por los pequeños y medianos productores, debido a que su producción disminuye los riesgos de sequías y otros fenómenos climáticos adversos que podrían provocar hambre y las pérdidas de animales, entre otros factores.

En investigaciones preliminares en FVH desarrolladas en Costa Rica por Marín y Torres (2016) quienes realizaron una valoración preliminar de costos, considerando solamente el factor semilla (el resto como costo fijo), determinaron que la producción de forraje es más eficiente en maíz que en sorgo, con proporciones de semilla: forraje de 1:6,7 y 1:3,8 respectivamente. Sin embargo, el costo de la semilla técnica (certificada, tratada) genera diferencias importantes en el costo relativo de la materia fresca (¢313,04 por Kg de materia fresca) y al emplear maíz de grano, esa relación se mejora de manera sustantiva.

En un estudio realizado por la FAO (2002), donde se utilizó semilla de maíz a diferentes densidades de siembra se confirmó que FVH representa una ventaja en relación con las formas convencionales de producción de forrajes por el bajo costo de producción al no requerir de maquinaria agrícola para su siembra y cosecha, lo cual un descenso de la inversión resulta evidente.

Al comparar algunos estudios sobre la rentabilidad de los sistemas de producción de FVH encontramos que el costo puede estar entre los 0,12 hasta los 12,70 \$/Kg de FVH en MS, eso sí dependiendo de la semilla que se utilice, tal y como se puede observar en el cuadro 3.

Cuadro 3. Costo en dólares de un kilogramo de materia seca de FVH

Fuente de referencia	Semilla	Costo del FVH \$/ Kg MS
FAO (2013)	Maíz certificado	0,12
Marín y Torres (2016)	Maíz producido libremente por el productor nacional.	0,20
Meza (2005)	Variedad Pioneer 3025	12,70

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación y clima

La investigación se desarrolló en la Estación Experimental Fabio Baudrit de la Universidad de Costa Rica, ubicada en Barrio San José de Alajuela, a una altitud de 840 m.s.n.m, y a 10° 01 latitud norte y 84° 16 longitud oeste.

En la zona se un promedio anual de precipitación es de 1940 mm distribuidos entre mayo y noviembre, el promedio anual de temperatura es de 22°C y una humedad relativa anual de 57 % (EEAFBM, 2016).

Durante el periodo experimental se determinó la temperatura y la humedad relativa tanto dentro del invernadero como al interior del módulo de producción hidropónica, utilizando dispositivos electrónicos llamados Hobbos, los mismos se ubicaron dentro del módulo de trabajo, así como en la cámara de germinación, los datos recolectados fueron analizados y se determinaron los promedios de cada variable en el cuadro 2.

Cuadro 2. Valores promedio de temperatura y humedad relativa en la cámara de germinación y el módulo hidropónico durante el período experimental.

	Cámara de germinación		Módulo de FVH	
	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Máximo	31,50	99,00	31,40	97,04
Mínimo	22,20	62,30	19,70	59,80
Promedio	27,30	82,70	23,90	86,00

4.3 Tratamientos experimentales

Los tratamientos experimentales fueron diseñados en función a las variedades de maíz utilizadas para la producción de FVH. Se evaluó como testigo semilla certificada de Diamantes 8843, producida por el Instituto de Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), y tres variedades de maíz criollo (grano comercial), procedentes de dos zonas del país donde existe una gran tradición para la producción de este cultivo, las cuales son Pérez Zeledón y Puntarenas, aportadas por el Ing. Francisco Marín Thiele, MAG en el marco del proyecto de FVH_FITTACORI. Los tratamientos experimentales se describen en el cuadro 3.

Cuadro 3. Características de los tratamientos experimentales.

Tratamiento	Descripción	Abreviatura
T1	Testigo (semilla certificada maíz Diamantes)	SCD
T2	Maíz comercial del pacífico (maíz amarillo)	MCA
T3	Maíz comercial del pacífico (pico de gallo rojo)	MCP
T4	Maíz comercial de la zona sur (maíz blanco)	MCB

Fuente: elaboración propia

4.3 Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental en bloques al azar generalizado, donde cada uno de los cinco bloques contó con cuatro unidades experimentales por tratamiento (cada unidad es una repetición). La unidad experimental fue una bandeja de 0,55 m x 0,30 m = 0,165 m² con granos germinados de maíz. En la figura 1 se representa la aleatorización de los tratamientos y las unidades experimentales por bloque.

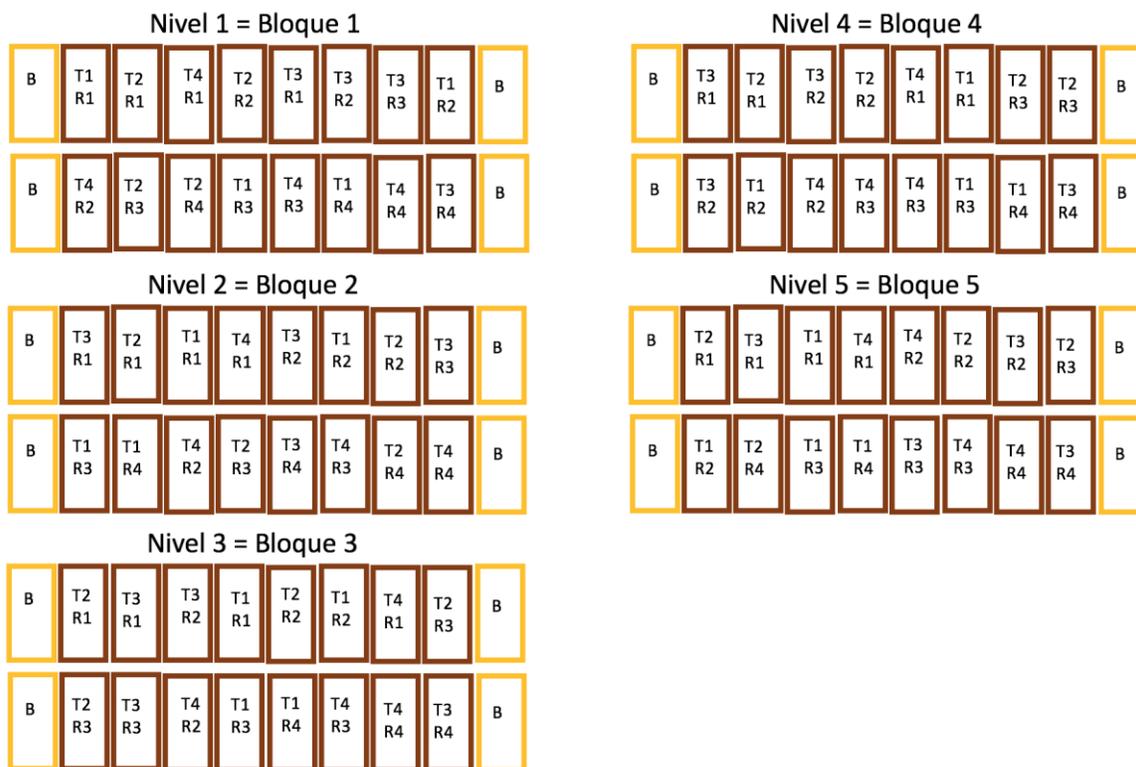


Figura 1. Esquema que representa el diseño experimental y de la aleatorización de los tratamientos.

Nota: cada rectángulo en borde café representa una unidad experimental (bandeja de siembra), los rectángulos en borde amarillo representan bandejas de borde, que no fueron utilizadas en el estudio.

4.2 Instalaciones y equipo

La producción de forraje verde hidropónico de maíz se realizó dentro de un invernadero multicapilla orientado de este-oeste, formado por 4 módulos de 9,60 m de ancho y 55 m de largo (2090,00 m²), alturas de 6,50 m al cenit y de 4,00 m a la canoa.

Dentro del invernadero se construyó un módulo para producción de FVH, que consistió en una estructura metálica con cinco estantes de 1,20 m de ancho por 3,00 m de largo, distribuidos en cinco niveles separados 0,40 m entre sí, para una altura total de 2,00 m. Cada estante tenía una inclinación de 1% desde el centro hacia ambos lados (Figura 2).



Figura 2. Estructura de metal con su sistema de riego, utilizada como módulo de producción de forraje verde hidropónico.

Se utilizó un área de trabajo externa del Programa de Hortalizas para llevar a cabo todas las fases previas de tratamiento de semilla, tales como la selección, limpieza, desinfección e imbibición; y se utilizó una cámara de germinación para pregerminar la semilla.

Se utilizó un sistema de riego automatizado para mantener la humedad de los materiales durante el periodo experimental, el sistema de riego se dividió en 3 sectores independientes con el objetivo de realizar otras investigaciones en el módulo de producción FVH que permitieran aplicar fertirrigación de manera individual por nivel o tratamiento. En el caso del presente estudio se realizó la aplicación de los riegos de manera uniforme en los diferentes niveles y bloques, utilizando una sola solución hidropónica.

Cada sector estaba conformado por 5 componentes: a) sistema de almacenamiento, b) bombas de presión, c) sistema de conducción de agua en polietileno (PE) y polivinilcloruro (PVC), d) microaspersores autocompensados, e) distribución del riego y f) reguladores de presión y manómetros a la entrada de cada sector, para controlar la presión a 22 PSI (Figura 3).



Figura 3. Secciones del sistema de riego.

En cada sector de riego, como tubería principal se utilizó PVC de ½ pulgada para la conducción del agua desde el tanque hasta el módulo de producción, mientras que la tubería

secundaria fue de polietileno de 16 mm. La tubería secundaria estuvo distribuida en 5 ramales con 4 líneas de riego cada uno, para un total de 20 líneas. Cada línea de riego estaba formada por 2 aspersores para un total de 20 aspersores.

Por último, la frecuencia de riego que se empleó fue cada 30 minutos, durante aproximadamente 20 segundos cada riego, los 5 primeros días solo se aplicó agua, y del 5 al 9 día de crecimiento se aplicó una solución nutritiva, cuya composición se detallará en el procedimiento experimental.

4.4 Caracterización del manejo agronómico y las variables climáticas imperantes en las zonas de recolección del maíz criollo grano comercial.

En las regiones de Pérez Zeledón y Puntarenas se realizó una selección de los materiales disponibles tomando en cuenta los más promisorios para ser utilizados como semilla de maíz para la producción de FVH.

En las fincas seleccionadas para la recolección de maíz grano comercial se realizó una caracterización donde se tomaron en cuenta dos aspectos, el manejo agronómico y las variables agroclimáticas imperantes en la zona de cultivo.

Para realizar la caracterización del manejo agronómico empleado en el cultivo de maíz criollo recolectado en cada finca, se consideraron los siguientes factores: época de siembra, topografía y textura del suelo, preparación del terreno, área de siembra, densidad de siembra, sistema de siembra, riego, fertilización (tipos de fertilizante, dosis aplicada por hectárea) manejo de plagas y enfermedad, utilización de plaguicidas a la siembra o durante el ciclo de cultivo, fecha de cosecha, manejo durante la cosecha, rendimiento de maíz (qq/ha), pérdidas poscosecha y manejo poscosecha.

Para realizar una caracterización de las variables climáticas imperantes en las zonas de cultivo de maíz seleccionadas, primero se ubicaron las estaciones meteorológicas más cercanas a cada finca, administradas por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), estas fueron la estación del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) en Pérez Zeledón, estación climatológica de Puntarenas y la estación de Aranjuez, en cada estación se colectaron los datos promedio anual.

Las variables climáticas que se colectaron fueron las siguientes: promedio de temperatura media, mínimas y máximas (°C), humedad relativa promedio (%) y precipitación promedio anual (mm).

4.5 Procedimiento experimental

El procedimiento experimental se desarrolló en dos fases:

Fase I

Los materiales seleccionados de maíz criollo se sometieron a una prueba de germinación que se llevó a cabo utilizando bandejas metálicas con papel toalla y se colocaron en una cámara de germinación bajo temperatura controlada de 25 grados Celsius durante 72 horas, para calcular la tasa de germinación, con el objetivo de evaluar su potencial para ser utilizados como semilla.

Una vez identificados los materiales de maíz con potencial de germinación fueron sometidos a una prueba de aflatoxinas mediante la técnica de Luz Oscura, la cual consiste en una inspección visual captando la presencia de fluorescencia oro verdoso bajo la luz con longitud de onda de 365 nm (nanómetros), dicho color se observa igual que una luciérnaga (color verde fosforescente) e indica la presencia de un ácido que se produce por crecimiento activo de *Aspergillus. flavus* en el grano. Si hay menos de ocho partículas fluorescentes por muestra de 2,50 Kg, no garantiza que esta esté libre de aflatoxinas (Meyer 2012).

Fase II

Una vez finalizada la fase de germinación y aflatoxinas de los materiales de maíz evaluar, se desarrolló el procedimiento experimental descrito por Vargas (2008) para la producción de FVH:

1. Pesado y selección de las semillas utilizadas en todos los tratamientos: Se realizó una selección de los granos de maíz, con el propósito de eliminar todas aquellas que estaban en mal estado (semillas partidas) y cuerpos extraños,
2. Prelavado: Se colocaron los gramos de maíz en baldes de remojo por separado de cada tratamiento experimental, y con una criba se eliminaron todas aquellas que flotaban en agua.
3. Lavado y desinfección: Las semillas se sumergieron en una solución de 100 g/ de Hidróxido de Calcio (cal apagada) durante 8 horas. Posteriormente se hizo un lavado de la

cal y se sumergieron en Busamart ® (TCMTB: benzotiazol) a una dosis de 1 ml l⁻¹ durante 5 minutos.

4. Escurreo y Oreo: Las semillas se colocaron sobre sacos limpios extendidos para arearlas por un periodo de 12 horas.

5. Remojo y pregerminado: Se sumergieron los granos de maíz y semillas en agua por un periodo de 6 horas y se hizo recambio manual del agua cuando tuvo una apariencia turbia.

6. Siembra: Se colocaron las semillas en las bandejas de siembra (55 x 30 cm = 0,165m²) tratando de formar una capa uniforme de semilla. Se utilizó una densidad de siembra de 3 Kg de semilla m², para todos los tratamientos experimentales.

7. Germinación: para lograr una adecuada germinación, las bandejas fueron cubiertas con papel de servilleta y húmedo, y colocadas en la cámara de germinación con una humedad relativa de 85% a 100% y una temperatura de 20 a 25 °C, durante 3 días.

8. Producción: Una vez transcurrido el tiempo de germinación (3 días), se retiró el papel toalla que cubre las bandejas, y se colocaron en el módulo de producción de FVH, este momento se programaron riegos fijos por tiempo de 30 segundos, con una frecuencia de cada 30 minutos dependiendo de las condiciones climáticas, los primeros 5 días solo se utilizó agua en el riego.

9. Fertirrigación: Con el fin de mejorar la nutrición del FVH, se aplicó una solución nutritiva a partir del día 5 y hasta el día 9 de crecimiento en todos los tratamientos experimentales, su composición se detalla en el cuadro 4. La aplicación del fertirriego se realizó con la ayuda del equipo de aspersión automática que se describió en las instalaciones y equipo, la frecuencia de aplicación fue de cada 30 minutos, durante aproximadamente 20 segundos cada riego.

Nota: hay que tomar en cuenta el índice de imbibición donde la semilla utilizada, una vez terminada la imbibición absorbió cerca de un 33,3% de humedad.

Cuadro 4. Composición nutricional de la solución nutritiva utilizada para la fertirrigación de los tratamientos experimentales.

Solución baja	Dosis
Solución A	g/400L
HNO ₃	10,10
Fosfato monopotásico	36,00
Nitrato de potasio	106,00
Sulfato de potasio	20,00
Sulfato de magnesio	68,00
Solución B	
EDTA-Fe	2,00
EDTA-Cu	0,30
EDTA-Mn	1,00
ZnSO ₄ 1H ₂ O	0,10
H ₃ BO ₃	0,30
Molibdeno	0,30
Solución C	
HNO ₃	10,10
CaCl ₂ ·6H ₂ O	26,80
Ca(NO ₃) ₂	140,00

Fuente. Soto (2013).

10. Cosecha: Se realizó a los 12 días después de terminado el proceso de la germinación, iniciando en el momento que las bandejas fueron colocadas en el módulo experimental dentro del invernadero, se fijó ese periodo de cosecha considerando las recomendaciones realizadas por Ramírez (2011), quien considera que a los 12 días el FVH alcanza una adecuada producción de biomasa y composición bromatológica, que hacen el material atractivo para el consumo de los animales.

4.6 Variables a evaluar

4.6.1 Variables de producción del sistema

Cuando se realizó la cosecha del forraje a base de maíz utilizados para la producción de FVH se determinaron las siguientes variables productivas: altura de las plantas (cm), producción de biomasa verde y en materia seca (MS) por unidad de área.

4.6.1.1 Altura de las plantas

La altura de la planta se midió en centímetros (cm) desde la base de la semilla y hasta el punto medio visual de crecimiento de las plantas. Se realizó una única vez al terminar el ciclo de cultivo (el día de cosecha), con una regla graduada, se tomaron seis mediciones en zonas representativas de cada bandeja, para determinar un promedio de altura.

4.6.1.2 Producción de biomasa

Para determinar la producción de biomasa verde se consideró la conversión de maíz en biomasa de germinado, la cual se estimó por diferencia del peso entre kilogramo de semilla que se depositó en cada bandeja y el total del FVH producido. La biomasa en peso fresco (Kg PF/m²), correspondió a la producción (Kg) de FVH fresco producido en un 1 m².

Así mismo se calculó mediante la división del peso neto de material por bandeja entre el área del recipiente (0,55 x 0,30 m = 1,65 m²).

$$\text{Biomasa en fresco} = \text{Kg FVH} / \text{bandeja } 0,16 \text{ m}^2$$

Para determinar el porcentaje de materia seca (MS) se tomaron las muestras compuestas de 250-350 g de FVH por tratamiento y se introdujeron en una bolsa de papel previamente pesada, en el laboratorio de la Estación Experimental Fabio Baudrit. Luego, se colocaron las muestras en una estufa a 60 °C durante 72 horas (Camero 2008). Posteriormente se pesaron las muestras secas, por diferencia de peso entre las bolsas, el material verde y el material seco se obtuvo el peso seco neto, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MS} = (\text{Peso seco neto} / \text{Peso fresco neto}) \times 100$$

4.6.2 Composición nutricional del FVH

Para determinar la composición nutricional del FVH en los diferentes tratamientos se utilizaron las mismas muestras que fueron recolectadas para la determinación de la variable producción de biomasa, una vez secas las muestras e identificadas por tratamiento y repeticiones por nivel, fueron trasladadas al Laboratorio de Nutrición Animal de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional para realizar los análisis de composición nutricional.

Con el propósito de determinar la composición nutricional del material forrajero se realizaron los siguientes análisis bromatológicos:

- ✓ Materia seca a 105 °C. El contenido de materia seca se determinó según las técnicas establecidas por la A.O.A.C (1984)
- ✓ Proteína cruda (PC), se desarrolló a través del método Micro Kjeldahl, según las técnicas establecidas por la A.O.A.C (2001).

- ✓ Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS), se calculó según la metodología descrita por Tilley y Terry, modificado por Van Soest *et al* (1991).
- ✓ Fibra detergente ácida (FDA) y la fibra detergente neutra (FDN), se determinaron según la metodología descrita por Van Soest (1970).
- ✓ Cenizas, se obtuvo mediante las técnicas establecidas por A.O.A.C (2012).

4.7 Análisis Estadístico

Los datos obtenidos en cada una de las variables experimentales fueron registrados en una hoja de cálculo de Microsoft® Excel®. Para determinar la diferencia estadística entre tratamientos para cada una de las variables evaluadas se procedió a realizar un análisis de varianza. Para los casos en que se presentó diferentes significativas entre tratamientos se procedió a realizar una separación de medias mediante la prueba Tukey con un nivel de significancia del 5%.

Previo al análisis se verificó la distribución normal de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas utilizando la prueba de Levene. Los análisis de los datos se realizaron en el paquete estadístico SAS® versión 9,4.

Las variables por medir se analizaron según el siguiente modelo estadístico para un diseño experimental de bloques generalizados:

$$Y_{ijk} = m + a_i + b_j + (ab)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = k ésima observación del j ésimo bloque y el i ésimo tratamiento

μ = media general

α = efecto del i ésimo tratamiento

B = efecto del j' ésimo bloque

(αB) = es la interacción bloque por tratamiento

e_{ijk} = término aleatorio asociado la Y_{ijk}

4.8 Valoración económica

Se realizó una valoración económica de la producción de FVH para determinar si el uso de maíz criollo (grano comercial) tiene un efecto positivo en la reducción de los costos de producción por Kg de FVH al compararlo con el FVH producto del tratamiento donde se utilizó semilla certificada de maíz.

Para determinar el costo por kilogramo de FVH en MS producido por metro cuadrado en cada uno de los tratamientos experimentales, se consideraron los siguientes costos:

- ✓ Costo de los insumos agrícolas necesarios para la producción de FVH: aquí se tomaron en cuenta: la cal, las soluciones nutritivas, además insumos como papel toalla para la germinación, fungicidas entre otros.
- ✓ Costo del material de maíz sembrado: dentro de este rubro se cuantificó el costo por kilogramo de maíz criollo (grano comercial) recolectado en las fincas de los productores en el momento de la compra, así como el valor de la semilla certificada de maíz Diamantes en el mercado nacional.
- ✓ Costos de depreciación de las instalaciones y el equipo utilizados en la investigación: entre estos se cuantificó, el módulo experimental con los estantes de metal diseñados para la producción de FVH, sistema de almacenamiento, bombas de presión, sistema de conducción de agua en polietileno (PE) y polivinilcloruro (PVC), así como los microaspersores autocompensados, manómetros a la entrada de cada sector y el reloj para la programación de riegos (Timer).
- ✓ Costo de mano de obra: se determinó la cantidad de jornales necesarios para realizar todas las actividades productivas del FVH evaluado. Se utilizó como referencia el salario mínimo de un operario agropecuario con las cargas sociales incluidas, según el informe para el I clico del año 2017, emitido por el Ministerio de Trabajo.

Para calcular los costos de producción del FVH en dólares se utilizó como referencia el tipo cambiario al momento de compra del grano emitido por del Banco Central de Costa Rica, el cual fue de ¢ 564.89 por dólar.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Manejo agronómico del maíz grano comercial utilizado en la investigación.

Según Eyhérbide (2014), el manejo agronómico que se implementa en el cultivo de maíz tiene una gran influencia sobre los rendimientos productivos y la calidad final del grano cosechado. Por lo que fue de suma importancia registrar y analizar el manejo agronómico que se implementó en cada una de las fincas donde se recolectó los materiales de maíz criollo (grano comercial) que fueron utilizados para producción de FVH.

En el cuadro 5, se presenta el manejo agronómico que se implementó en cada una de las parcelas de maíz seleccionados en las zonas de recolección: Concepción de Pilas, Buenos Aires, Puntarenas, El progreso de Pérez Zeledón de San José y Aranjuez de Puntarenas, respectivamente.

Cuadro 5. Características del manejo agronómico que se implementó en cada una de las fincas donde se recolectó el maíz (grano comercial).

<i>Variedades de maíz criollo</i>	Pico de Gallo	Maíz Blanco	Maíz amarillo (Guaraní)
<i>Ubicación de la Finca</i>	Concepción de Pilas, Buenos Aires, Puntarenas	El Progreso de Pérez Zeledón	Aranjuez de Puntarenas
<i>Fuente de la muestra</i>	Cultivar tradicional	Cultivar tradicional	Cultivar tradicional
<i>Pureza varietal</i>	Pureza media- baja	Pureza media- baja	Pureza media
<i>Época de siembra</i>	Verano	Verano	Postrera*
<i>Topografía del terreno</i>	Ladera	Ladera	Plano
<i>Textura del suelo</i>	Arcilloso	Arcilloso	Franco arenoso
<i>Preparación del terreno</i>	Mecanizado (uso de tractor)	Mínima labranza (solo aplicación de herbicida)	Mínima labranza, (o aplicación de herbicida)
<i>Área de siembra (ha)</i>	2,80	0,35	1,00
<i>Densidad de siembra (plantas/ha)</i>	13 333,30	13 333,30	13 333,30
<i>Fecha de siembra</i>	10 setiembre 2015.	3 de octubre 2015	10 de setiembre 2015
<i>Sistema de siembra</i>	Por espeque	Por espeque	Por espeque
Riego	Sin riego	Sin riego	Sin riego
Fertilización			
<i>10-30-10 (qq/ha)</i>	8,60	4,00	2,00

Nitrato de amonio (qq/ha)	7,15	2,00	4,00
Control de plagas y enfermedades			
Control químico	No hubo aplicación de ningún químico	A los 26 días de la siembra se aplicó 8 onzas TIGRE–25EC, nombre común Cypermetrina + Dimetoato, para evitar el daño del cogollero.	Utilización de cipermetrina 8,00 Kg por ha para eliminar el gusano cogollero,
Control cultural	Presencia de <i>Spodoptera frugiperda</i> (cogollero), se mitigó mediante prácticas culturales como eliminar malezas hospederas de insectos.	No hubo control cultural.	Eliminación de la maleza mediante chapias con moto guadaña.
Cosecha			
Fecha de cosecha	20 de diciembre 2015.	4 de enero 2015	9 de diciembre 2015
Manejo en la cosecha	No hay dobladura de tallo, de una vez en la mazorca se desgrana y se guarda en una galera.	Llevar a cabo el dobladura del tallo, luego de un tiempo recolectan la mazorca y desgranar y almacenan.	Dobladura del tallo para lograr un mejor secado en campo, y desgrane un mes después.
Rendimiento de maíz (qq/ha)	75,00	51,40	90,00
Perdidas poscosecha (%)	10	20	5
Manejo poscosecha	Solo guardan en una bodega el maíz cosechado.	Al desgranar la mazorca vuelven a poner al sol el grano lo terminan de secar y lo almacenan en sacos obteniendo un porcentaje de humedad de 8 %	Solo se almaceno el maíz en sacos en una bodega

*últimos días del mes de setiembre.

Es importante resaltar que el manejo agronómico implementado por los productores en cada una de las fincas donde se recolectó el maíz criollo fue similar en aspectos tales como: época, densidad, fecha y sistema de siembra, además no se utilizó riego. Sin embargo, se presentaron diferencias en la utilización de prácticas agronómicas referentes al método de preparación del terreno, área destinada para la siembra, fertilización (dosis utilizadas), control de plagas y enfermedades y proceso de cosecha del maíz.

La preparación del terreno para realizar la siembra del maíz criollo se realizó mediante el método de mínima labranza en las fincas ubicadas en El Progreso de Pérez Zeledón y Aranjuez de Puntarenas, mientras que (Concepción de Pilas de Buenos Aires de Puntarenas) se realizó mediante el método mecanizado, donde se utilizó maquinaria agrícola para remover las primeras capas de suelo, con el fin de maximizar la penetración de raíces y absorción de los nutrientes. Según Hernández (2012), la preparación del terreno para la siembra del cultivo

de maíz se debe hacer mediante la mínima labranza, así se logra rendimientos adecuados de grano y reducir los costos de producción.

La siembra del maíz criollo en las diferentes fincas se realizó en la época lluviosa, momento en el cual, se puede aprovechar el agua de lluvia para no utilizar sistemas de riego en las plantaciones; esta práctica, según Molina (2010) permite un mejor desarrollo y productividad de los materiales de maíz en condiciones de campo. Según Fenalce (2010) la siembra del maíz se debe realizar en el periodo de inicio de las lluvias, ya que al realizar siembras tardías se genera un retraso de la floración femenina y se reduce el periodo de llenado de grano.

En todas las fincas se utilizó una densidad de siembra de 13 333, 30 plantas/ha, donde se sembró a 0,50 metros entre planta y 1,50 metros entre calle, se depositaron dos semillas por golpe y se realizaron los huecos con un espeque de madera.

En cuanto a la fertilización los productores aplicaron 10-30-10 y Nitrato de Amino como fuentes de nitrógeno, fosforo y potasio, sin embargo, las dosis de aplicación variaron según la finca, las mayores cantidades de fertilizante se utilizaron en el maíz Pico de Gallo (190,80 Kg de nitrógeno, 118,60 Kg de fosforo y 39,50 Kg potasio por hectárea), las cantidades de nutrientes aplicados en el maíz blanco y amarillo fueron menores. Es importante mencionar que la aplicación de fertilizante en las tres fincas se realizó sin consultar un análisis de suelo, para identificar las posibles carencias o excesos de nutrientes presentes en el suelo y calcular las dosis de fertilizante adecuadas.

Según entrevistas realizadas en el campo con los productores, en las plantaciones de maíz se presentaron pocos problemas fitosanitarios, siendo el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) la principal plaga registrada. El control de plagas y enfermedades se realizó mediante el uso de productos químicos (principalmente cipermetropina) en las plantaciones de maíz blanco y amarillo, sin embargo, en la producción del maíz Pico de Gallo se implementaron métodos culturales tales como: eliminar plantas hospederas de insectos plaga y la siembra de plantas con propiedades repelentes. La no utilización de productos químicos en la variedad Pico de Gallo posiblemente influyó en el rendimiento productivo y la calidad final del grano.

Según Altieri (2014) es importante considerar las condiciones agroecológicas imperantes en la zona de cultivo, así como los tipos de plagas y enfermedades, sus hábitos de crecimiento, ciclos de vida y época del año en que se incrementan las poblaciones, con el fin de implementar acciones de manejo preventivo, acorde al tipo del material genético y época de siembra.

La cosecha del maíz en las tres fincas se realizó cuando las plantas alcanzaron los 140 días edad aproximadamente, en el caso del maíz blanco y amarillo se dobló el tallo de las plantas y se dejó secando la mazorca en el campo hasta alcanzar una humedad adecuada para el almacenamiento, luego se desgranó y almacenó. En el maíz Pico de Gallo no se realizó el dobladura de tallo de las plantas este solo se desgranó y almacenó en una galera.

5.2 Características climáticas imperantes en las zonas de producción del maíz criollo.

Según Soria (2015), las características climáticas imperantes durante el ciclo de cultivo del maíz poseen una influencia sobre el desarrollo fenológico de las plantas, la edad de floración, el llenado de la mazorca y la calidad final del grano. Es de gran importancia recordar que el éxito de la producción de FVH depende de la calidad de la semilla utilizada.

El cuadro 6 se muestra las principales características climáticas imperantes en las diferentes zonas geográficas donde se cultivaron las tres variedades de maíz criollo seleccionadas en la presente investigación, como semilla para la producción y evaluación de FVH.

Cuadro 6. Principales características climáticas presentes en cada zona de colecta de los materiales de maíz criollo (grano comercial) utilizadas para la producción de FVH.

<i>Variedades de maíz</i>	Pico de gallo	Maíz Blanco	Maíz amarillo (Guarari)
Lugar de cultivo	Concepción de Pilas, Buenos Aires, Puntarenas	El Progreso, Pérez Zeledón	Aranjuez, Puntarenas
Latitud de la ubicación de la finca	9° 06' 15.3''N	9° 09' 15.6''N	10° 03' 44.3''N
Longitud de la ubicación de la finca	83° 29' 06.4''O	83° 32' 49.0''O	84° 47' 29.5''O
Estación meteorológica	98 89, Puntarenas	P.Z	78 27 aranjuez
fecha de consulta	2016	2015	2016
Altitud (msnm)	680,00	700,00	177,00
Temperatura media anual (°C)	22,01	23,00	21,10
Temperatura mínima anual (°C)	14,00	17,60	17,40
Temperatura máxima anual (°C)	26,80	28,5	24,90
Humedad relativa promedio (%)	72,40	84,80	77,00
Precipitación promedio anual (mm)	2536,30	2734,50	1360,90

Como se puede apreciar en el cuadro anterior las variedades maíz Pico de Gallo y Amarillo fueron cultivadas en una zona de bajura (Buenos Aires de Puntarenas) que presenta variables climáticas muy similares para el sector de Concepción de Pilas, Buenos Aires, Puntarenas, localidades con una altitud cercana a los 700 msnm, donde se reportaron temperaturas medias anuales de 22 y 23 °C, una humedad relativa promedio de 72,40 y 84,80%, y precipitaciones que alcanzan más de los 2500 mm anuales.

El maíz amarillo se sembró y cosechó en la zona de Aranjuez de Puntarenas, la cual se caracteriza por presentar una altura de 1181 msnm, una temperatura media anual de 21,10 °C, una humedad relativa del 77% y una precipitación promedio de 1360, 90 mm anual.

De acuerdo con García (2008), el maíz es un cultivo de crecimiento rápido, que rinde más con temperaturas moderadas y un suministro abundante de agua. La temperatura ideal de crecimiento es entre 24 °C y 30 °C; cuando la temperatura es mayor de 30°C las raíces absorben el agua con dificultad, y las plantas comienzan un proceso de marchitamiento debido a que la evapotranspiración es alta, lo que hace disminuir la fotosíntesis y acelera la floración y la senectud. La mayoría de los productores cree que el maíz crece mejor cuando

las noches son cálidas, pero, por el contrario, en las noches cálidas el maíz utiliza demasiada energía en la respiración celular, por esta razón, son ideales las noches frescas, los días soleados y las temperaturas moderadas.

La cantidad, distribución y eficiencia de la lluvia son factores de gran importancia en la producción de maíz debido a que regulan la humedad relativa, el cultivo de maíz es un cultivo de crecimiento rápido, con requerimientos como abundante agua, una temperatura intermedia entre 24 °C y 30 °C. El calor y la sequía durante el periodo de polinización a menudo causan la desecación del tejido foliar y la formación eficiente del grano (Arrechea 2010).

5.3 Pruebas de germinación y concentración de aflatoxinas

5.3.1 Prueba de germinación

Uno de los factores más importantes a la hora de sembrar es la vialidad que presentan las semillas, ya que la germinación de las semillas incluye procesos metabólicos y morfogenéticos que transforman del embrión en una plántula capaz de convertirse en una planta adulta (Coll 2012). Por esta razón se evaluó el potencial de las variedades de maíz criollo seleccionadas y la semilla testigo, mediante una prueba de germinación. En el cuadro 7 se muestran los resultados obtenidos en cada variedad.

Cuadro 7. Porcentaje de germinación según variedad de maíz criollo.

Tratamiento	N° de semillas evaluadas *	Días de prueba	Germinación (%)
Certificada (SCD)	100	7	91,00
Amarillo (MCA)	100	7	99,00
Pico de Gallo (MCP)	100	7	91,00
Blanco (MCB)	100	7	96,50

* 100 semillas por duplicado.

Se encontró que el porcentaje de germinación de la semilla certificada de maíz Diamantes alcanzó el 91%, mientras las variedades de maíz criollo evaluadas mostraron valores superiores que oscilaron entre el 91,00 y el 99,00%, las variedades que mostraron un mayor porcentaje de germinación fueron la MCA y MCB.

Según Abarca (2014), las semillas que serán utilizadas para la producción de FVH deben tener un porcentaje de germinación entre los 80 y 90%, por lo que los materiales evaluados

alcanzaron porcentajes de germinación adecuados para ser utilizados como semilla en procesos de FVH.

Los materiales de maíz criollo evaluados obtuvieron altos niveles de germinación debido posiblemente al buen manejo poscosecha, mediante el cual los productores lograron disminuir los porcentajes de humedad del grano secando el maíz en el campo, además realizaron la eliminación de impurezas tales como: semillas quebradas, restos de plantas, insectos muertos entre otros, mediante la selección exhaustiva.

Según Hernández (2016), la conservación apropiada de granos y semillas durante el almacenamiento depende principalmente de las condiciones ecológicas de la región, bodega o almacén disponible, del tipo y condición del grano o semilla por almacenar y del tiempo del almacenamiento.

5.3.2 Concentración de aflatoxinas.

Las aflatoxinas son micotoxinas producidas en pequeñas cantidades por hongos *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus* y de las especies relacionadas, *A. nomius* y *A. niger*, también pueden ser producidas por hongos del género *Penicillium*, como *P. verrucosum*, son de gran importancia en la industria de semillas, debido a que su presencia puede provocar la muerte de cualquier ser vivo que consuma algún cereal infectado con alguna de las toxinas conocidas (Cornejo 2010).

En el cuadro 8 se muestran los valores de aflatoxinas que se obtuvieron en las variedades de maíz criollo antes de ser utilizadas en la producción de FVH.

Cuadro 8. Concentración de aflatoxinas totales según grano de maíz utilizada en la investigación.

<i>Tratamiento</i>	<i>Masa (Kg de semilla)</i>	<i>Concentración (µg/Kg)</i>
<i>SCD</i>	0,79	370±74
<i>MCA</i>	0,71	1,8±0,40
<i>MCP</i>	0,70	100±2,00
<i>MCB</i>	0,82	7,30±1,50

Fuente: Análisis de aflatoxinas realizado en el laboratorio CIGRAS UCR, (2015).

La concentración de aflatoxinas que se obtuvo en la semilla certificada de Diamantes fue superior a los valores encontrados en los materiales de maíz criollo. Altos contenidos de

aflatoxinas en las semillas que serán utilizadas en la producción de FVH pueden ocasionar la aparición de hongos en las bandejas y provocar pudriciones de las raíces y una fermentación anaeróbica, así como problemas fitosanitarios que disminuyen el rendimiento del FVH, además afectar el contenido de materia seca y los componentes de la fibra (Ramírez 2017).

Es importante mencionar que el límite de concentración de aflatoxinas establecido por el laboratorio CIGRAS para consumo humano, se encuentra en 0,48 µg/Kg, los resultados muestran que en el material de maíz evaluado, ninguna variedad está por debajo del límite de detección permitido para semillas, la semilla certificada de Diamantes obtuvo valores de 370 µg/Kg por encima del límite permitido, esto pudo estar influenciado por un mal manejo en la etapa de poscosecha, contaminación en bodega debido a agentes externos y edad del material, entre otras causas.

La contaminación postcosecha puede ocurrir si la humedad del producto durante el almacenaje en bodega excede los valores críticos, esto permitirá el crecimiento del moho *Aspergillus*. Si las condiciones de almacenamiento mantienen una temperatura de 18°C y con una humedad en el grano de 7,50% y hasta un 12% no existe producción de aflatoxinas. Las infestaciones de insectos o de roedores facilitan la invasión de hongos de algunas materias almacenadas (Villarreal 2010).

Posiblemente el alto contenido de Aflatoxinas presentes en el material SCD se podría achacar al tiempo que tuvo este material de estar almacenado y las condiciones en las que estaba.

Una de las ventajas que presentaron los materiales de grano comercial, en términos de aflatoxinas, fue que estos materiales se utilizaron frescos porque tenían muy poco tiempo de almacenaje.

5.4 Variables productivas

En el Cuadro 9, se presentan los valores promedio obtenidos para las variables peso fresco (PF), altura de las plantas, porcentaje de materia seca (MS) y el peso seco del FVH en cada uno de los tratamientos experimentales. Se analizó el comportamiento de cada variable productiva.

Cuadro 9. Variables productivas, altura de planta, contenido de materia seca a 60°C, rendimiento de biomasa verde y seca según tratamiento experimental.

Tratamientos	Altura (cm) n=20	Peso fresco (Kg/m ²) n=20	Materia Seca 60 °C (%) n=5	Peso Seco (Kg/m ²) n=20
SCD	18,75 b	13,46 c	8,10 a	1,07 c
MCA	24,00 a	16,60 b	6,95 b	1,32 b
MCP	24,90 a	19,41 a	6,94 b	1,54 a
MCB	24,40 a	15,70 b	7,49 ab	1,25 b
Pr> F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Error Estándar	0,59	0,36	0,27	0,028

a, b, c .medias con diferentes letras difieren significativamente ($P \leq 0,05$) entre tratamientos según la prueba Tukey.

Probabilidad asociada al análisis de varianza

*Dimensión de la bandeja: 0,55 x 0,30 m = 1,65 m²

5.4.1 Altura

La altura de una planta es la distancia entre el límite más alto de los tejidos fotosintéticos principales de esa planta y el piso de la bandeja, que en caso de FVH lo representa el complejo de raíces, es expresado en centímetros. Esta medida manifiesta el grado de adaptación que logró el FVH durante la etapa de crecimiento. En la Figura 4 se muestra la altura que alcanzaron las plantas de maíz según los tratamientos experimentales a los 12 días de crecimiento, cuando se realizó la cosecha del FVH.

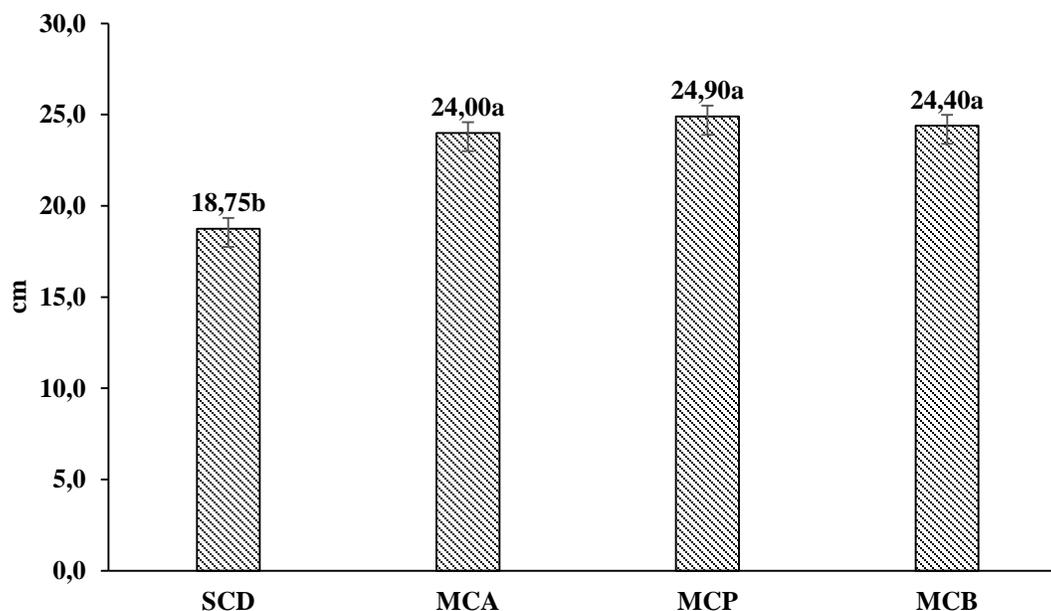


Figura 4. Altura de las plantas de FVH según tratamiento experimental.

a, b, c son medias con diferentes letras difieren significativamente para ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Tukey 1953).

La altura que se alcanzó en los diferentes tratamientos al final del experimento varió de 18,75 cm en el tratamiento SCD hasta los 24,90 cm en el tratamiento MCP (Cuadro 9), se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre el tratamiento SCD con respecto a los demás tratamientos experimentales.

En general se observó una altura menor del FVH en el tratamiento testigo (SCD) con respecto a los tratamientos donde se utilizó grano de maíz criollo o comercial. Las plantas con la mayor altura se presentaron en el tratamiento MCP, sin embargo, no se mostraron diferencias significativas entre esta variedad y los tratamientos MCA y MCB.

Según Zambrano (2015) las plántulas de maíz germinadas mediante el método de cultivo FVH experimentan un crecimiento acelerado hasta alcanzar los 10 y 15 días edad, a esta edad de cosecha el FVH puede alcanzar alturas entre los 15 y 25cm, formando hojas y tallos de alta calidad nutritiva y listo para la cosecha; sin embargo, estas alturas son directamente influenciadas por las condiciones climáticas y disponibilidad de agua y nutrientes durante el periodo de crecimiento del material.

Por su parte, un estudio desarrollado por Rodríguez (2012), donde se utilizó maíz Dekalb® híbrido DK 2020 para la producción de FVH, y durante su crecimiento solo se aplicó agua, el forraje alcanzó una altura de 18,66 cm a 12 días de edad. En esta misma investigación al utilizar una solución alta en nutrientes se incrementó la altura de las plantas de FVH hasta los 27,58 cm de altura promedio, situación que evidenció una relación entre el nivel de fertilización y la altura del FVH.

Los datos de altura obtenidos en los diferentes tratamientos de esta investigación (figura 4), son similares a los reportados por Rodríguez (2012), en el FHV fertilizado durante el ciclo de cultivo, hay que tomar en cuenta que en el presente estudio se utilizó grano de maíz criollo comercial, que carece de estándares de calidad en ese sentido y no es certificada.

La menor altura que se encontró en las plantas del tratamiento testigo SDC, puede estar influenciado por el bajo porcentaje germinación que presentó este material con respecto al maíz criollo comercial.

La mayor altura de planta que se alcanzó en los tratamientos experimentales donde se utilizó maíz criollo comercial puede estar relacionada con su alta capacidad de adaptación a las diferentes circunstancias ambientales, tales como luz, temperatura y humedad presentes en el módulo experimental.

5.4.2 Rendimiento de Biomasa

La producción de biomasa representa la medición del rendimiento productivo de un forraje, entendiéndose por biomasa el peso seco del forraje en un momento determinado, su medición resulta ser un indicador de gran importancia en la evaluación de alimentos de origen vegetal que se utilizaran para la alimentación animal (Martínez 2014). Los rendimientos de biomasa que se alcanzaron en los diferentes tratamientos experimentales se muestran en la figura 5.

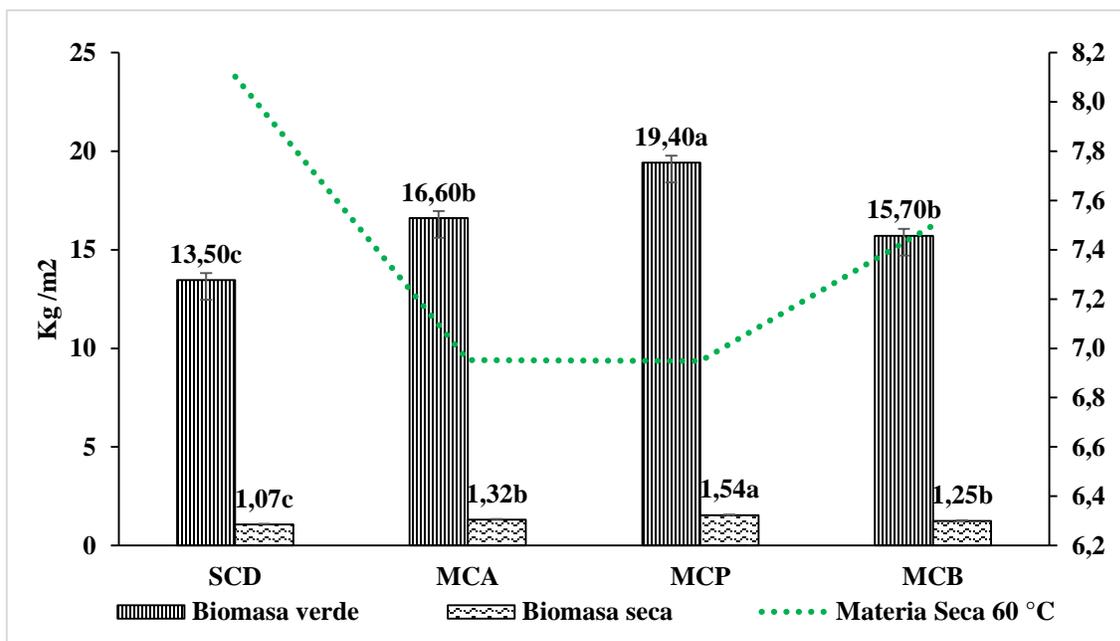


Figura 5. Producción de biomasa verde y seca en Kg/m² y porcentaje de materia seca según tratamiento experimental.

a, b, c medias con diferentes letras difieren significativamente para (P≤0,05) entre tratamientos (Tukey 1953).

La producción de biomasa en materia verde varió desde 13,50 Kg/m² en el tratamiento SCD hasta 19,40 Kg/m² en el tratamiento MCP (ver Cuadro 9). Se mostraron diferencias significativas (P≤0,05) entre los tratamientos SCD y MCP y no se presentaron diferencias significativas (P≤0,05) entre los tratamientos MCA y MCB.

Los rendimientos de biomasa verde alcanzados en la presente investigación son similares a los reportados por Salas (2010) quien utilizó semilla de maíz híbrida para producir FVH con una densidad de siembra de 3Kg, similar a los resultados de esta investigación alcanzando 16,49 Kg m² al cosechar el material a los 12 días de edad.

Se puede apreciar que el grano comercial de maíz Pico de Gallo (MCP) alcanzó la mayor producción de biomasa (19,40 Kg/m²), esto puede estar relacionado a un alto potencial para la acumulación de biomasa fresca presente en este genotipo de maíz criollo. Por otra parte la menor producción de biomasa verde se alcanzó en el tratamiento testigo (SCD) a pesar de ser una semilla certificada por la Oficina Nacional de Semillas, presentó múltiples problemas asociados con la calidad fitosanitaria (presencia de insectos, hongos y poca germinación).

Muñoz (2008), evaluó el efecto de la nutrición mineral aplicada mediante solución nutritiva, donde logro obtener 17,00 Kg m² de biomasa con una densidad de 3,50 Kg/m², resultados similares a la presente investigación (figura 5) pero se utilizó 0,50 Kg/m² más en la densidad de siembra.

Los buenos resultados en la producción de biomasa del presente estudio pudieron estar relacionados con la densidad de siembra utilizada (3,00 Kg/m²), así como la solución nutritiva que se aplicó a los tratamientos a partir del día cinco y hasta el día nueve de crecimiento, esto pudo influir en que los granos de maíz a la hora de desarrollarse tenían una buena competencia para el crecimiento y casi el 100% de los granos en bandeja progresaron.

Es importante mencionar que con esta técnica se produce en más de un nivel en forma vertical, con una reducción del área requerida para producción respecto a pastos en campo abierto, lo que significa una ventaja para las fincas con poco espacio y terreno disponible para el cultivo de forrajes.

Materia seca (MS).

La producción de MS varió desde los 6,94% en el tratamiento MCP hasta los 8,10 % para el tratamiento SCD (Cuadro 9), obteniendo diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre el tratamiento SCD con respecto a los demás, sin embargo, no se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos MCA, MCP y MCB. Se puede apreciar que la

semilla certificada Diamante (SCD) mostró la mayor producción de MS (8,10 %), esto puede estar influenciado a un amplio rango de adaptación a condiciones agroclimáticas, por otra parte, la menor producción de materia seca se alcanzó en el tratamiento Pico de gallo (MCP) esto porque presentó algunos problemas por ejemplo mucho grano quebrado y presencia de insectos lo que pudo afectar su rendimiento final.

Los valores de MS (%) obtenidos fueron menores a los reportados en otros experimentos como, por ejemplo, Rivera (2010), reportaron valores de 17,20% evaluando 2 soluciones nutritivas y 3 tipos de medios de cultivo.

Mientras Campêlo (2007), obtuvo 11,54% de MS en FVH de maíz, usando un sustrato vegetal para el crecimiento y prescindiendo de la utilización de fertilizante foliar.

En otro estudio realizado por Salas (2010) donde evaluaron soluciones nutritivas, tipos de maíz y días a cosecha se reportan un 15% de MS a los 12 días con una densidad de siembra de 3,40 Kg m².

Muñoz (2008), desarrolló la evaluación biológica y económica del uso de FVH en la producción lechera utilizando maíz amarillo donde obtuvo 10,80% de Materia Seca, y 14,76% utilizando maíz blanco a los 12 días, datos similares o aproximados a los que se obtuvieron en esta investigación.

Se puede determinar que nuestros genotipos locales de maíz presentan porcentajes bajos en MS posiblemente debido a que se realizó una fertilización baja y solo fue por 4 días, si lo comparamos con otros estudios, donde la fertilización se realizó con altas dosis y durante en todo el proceso de crecimiento.

Otra de las razones que podría explicar el bajo contenido de MS que se presentó en este estudio puede estar relacionado con la densidad de siembra que se empleó (3,00 Kg/m²) la cual es menor a las utilizada por Muñoz (2008) (3,50 Kg/m²).

Según Marín y Torres (2016), cuando se habla de MS en FVH, la tendencia es que, a mayor densidad de semilla, mayores porcentajes de este indicador productivo se presentarán en el forraje, por lo que sugieren una relación entre la densidad de siembra y los niveles de MS.

Producción de biomasa en materia seca.

Según los datos que se muestran en el cuadro 9 y la Figura 5, el tratamiento que presentó la mayor producción de MS fue MCP con un valor de 1,54 Kg/m² en comparación a los demás tratamientos experimentales. No se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,001$) entre los tratamientos MCA y MCB, las cuales mostraron valores de 1,32 y 1,25 Kg/m², respectivamente. La menor producción de MS/m² se obtuvo en el tratamiento SCD.

La producción de MS promedio que se alcanzó en el presente estudio (1,29 Kg/m²) es un valor inferior a los reportados por Gómez (2008), quien obtuvo rendimientos de biomasa entre 1,87 y 2,30 Kg/m² al evaluar maíz, sorgo y dolicos, a los 11 días de cosecha. Hay que tomar en cuenta que la MS es una variable de importancia debido a que representa la fracción donde se encuentran los nutrientes que serán consumidos por los animales al suministrar el FVH en la dieta.

5.5 Calidad nutricional de los tratamientos evaluados

En los alimentos es importante conocer los contenidos de MS, proteína, fibra, digestibilidad y cenizas; ya que su conocimiento permite balancear las dietas de los animales. Al mismo tiempo es necesario determinar la presencia de los compuestos anti nutricionales en el alimento, ya que estos pueden afectar el consumo de MS del animal (López *et al.* 2012).

El FVH es valorado por sus excelentes niveles de proteína y adecuado balance en la fracción fibrosa (mejor relación fibra soluble-fibra insoluble), lo que provoca alta digestibilidad de los nutrientes contenidos en estos alimentos en los animales que lo consumen (Cisneros 2006). Por ello, para evaluar el potencial del FVH como complemento alimentario se realizaron diferentes análisis de laboratorio a cada tratamiento, los valores promedio de cada análisis realizado se pueden observar en el cuadro 10.

Cuadro 10. Calidad nutricional del FVH de maíz según tratamientos experimentales.

<i>Tratamiento</i>	<i>PC (%)</i>	<i>FDN (%)</i>	<i>FDA (%)</i>	<i>DIVMS (%)</i>	<i>Cenizas (%)</i>
	<i>n=40</i>	<i>n=40</i>	<i>n=40</i>	<i>n=20</i>	<i>n=40</i>
<i>SCD</i>	14,66 b	38,30 ab	21,81 ab	72,37 a	5,76 a
<i>MCA</i>	17,20 ab	40,99 ab	23,59 a	69,76 a	5,99 a
<i>MCP</i>	15,16 ab	40,79 ab	23,42 a	67,55 a	11,03 a
<i>MCB</i>	15,84 ab	37,51 b	21,47 b	71,38 a	5,87 a
<i>Probabilidad</i>	0,0263	0,0068	0,0084	0,1453	0,3646
<i>Error Estándar</i>	0,4180	0,1780	0,4550	1,43	2,5030

a, b y ab son medias con diferentes letras difieren significativamente para ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Tukey 1953).

Leyenda: MS: materia seca. PC: proteína cruda, FDN: fibra neutra detergente, FDA: fibra ácido detergente, DIVMS: digestibilidad in vitro de la materia seca.

5.5.1 Proteína Cruda (PC)

Según Kjeldahl (1883), la proteína se mide de manera indirecta mediante la cuantificación del nitrógeno total multiplicado por un factor específico, en este caso es de 6,25 el resultado expresa la cantidad de proteína cruda que contiene el alimento.

En la Figura 6 se muestra el contenido de PC que se obtuvo para los diferentes tratamientos experimentales a los 12 días de crecimiento, momento en el cual se realizó la cosecha del FVH. Los valores promedio de PC encontrados en los diferentes tratamientos al momento de la cosecha variaron desde los 14,70% en el tratamiento SCD hasta los 17,20% del tratamiento MCA, se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre el tratamiento SCD con respecto a los demás tratamientos experimentales.

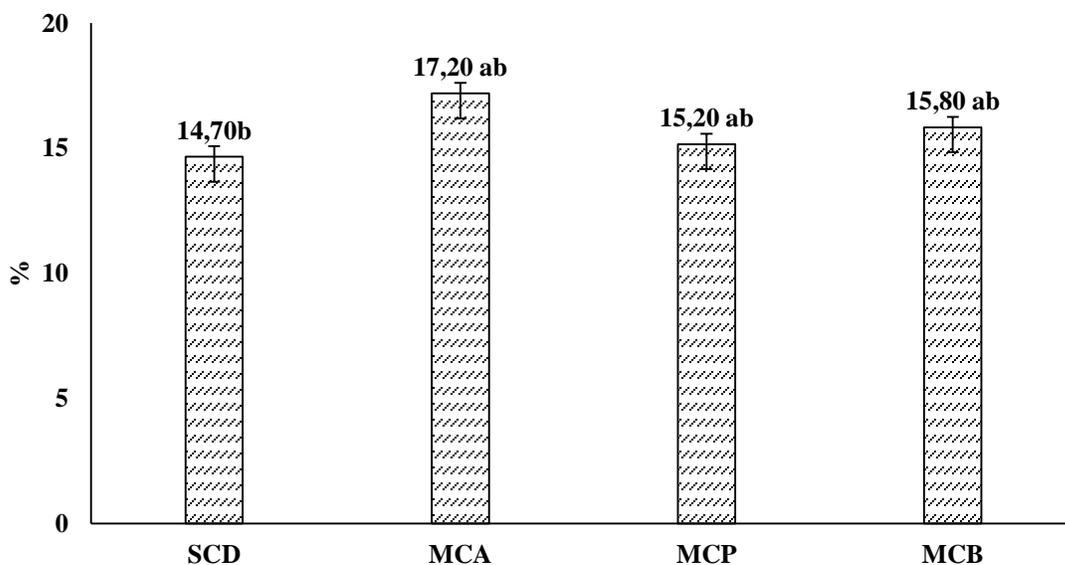


Figura 6. Contenido de proteína cruda (PC) según tratamiento experimental.

a, b y c son medias con diferente letra difieren significativamente para ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Tukey 1953).

Los resultados de PC que se alcanzaron en el presente estudio (14,70 y hasta 17,20%) son similares a los contenidos reportados en investigaciones realizadas por Camero (2008) quien

alcanzó valores de PC entre 12,23% y hasta 20,17 % en una evaluación biológica y económica del uso del FVH de maíz amarillo y blanco a los 12 días de cosecha.

Por otra parte, los contenidos de PC que se observaron en los diferentes tratamientos experimentales son superiores a los reportados por Vargas (2008), quien obtuvo un porcentaje de 13,65% de PC cuando evaluó de forma productiva dos genotipos de maíz.

El valor más bajo de PC se alcanzó fue en el tratamiento SCD, lo cual podría estar relacionado con la diferencia que mostro esta semilla con respecto a los demás materiales criollos evaluados, por ejemplo, el SCD presentó más contenido de aflatoxinas, un mejor porcentaje de germinación y esto incidió en que no germino todo el material.

El material MCA presentó el mayor contenido de PC, este resultado pudo ser consecuencia de la adecuada fertilización y el buen manejo por parte del productor que se le brindó en el campo antes de ser utilizado para la producción de FVH.

A pesar de que en esta investigación todo el material se cosechó a una misma edad. Es importante mencionar que la síntesis de proteínas es mayor en edades cortas que en estados más avanzados del FVH. Lo que posiblemente también influyó en los buenos resultados de PC que se alcanzaron en el presente estudio. Según Torres (2013), en ciertos casos, por estrategia de manejo interno de los sistemas de producción de FVH, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar de que varios estudios científicos han demostrado que el ciclo no debe extenderse más allá de los 12 días, ya que a partir de esta edad se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH.

En la Figura 7 se muestra el contenido de proteína cruda expresado en g/m^2 para cada tratamiento experimental, este resultado es el producto de relacionar el porcentaje de PC con la productividad de biomasa en m^2 de cada material de maíz evaluado.

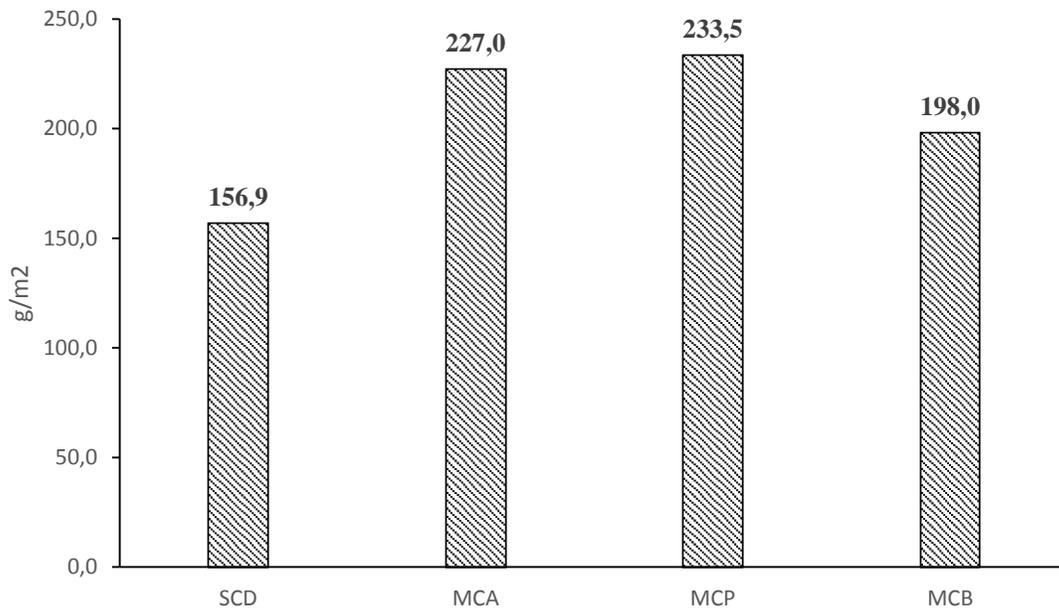


Figura 7. Contenido de proteína cruda (PC) en g/m^2 según tratamiento experimental.

En la figura anterior se encontró que los tratamientos de maíz criollo producen más proteína por m^2 que el material de maíz Diamantes o testigo, y entre ellos, los materiales MCA y MCP alcanzaron las mejores producciones de proteína cruda por unidad de área (227,0 y 233,5 g/m^2 , respectivamente)

Es de suma importancia hacer esta valoración del FVH, debido a que en la nutrición la cantidad de proteína que contiene la materia seca de un forraje nos permite medir el potencial real de este material para la alimentación y producción animal.

El maíz pico de gallo (MCP) fue el tratamiento que alcanzó los mejores resultados de producción de biomasa, lo que le permitió hacer un mayor aporte proteico por unidad de área.

5.5.2 Fibra neutra detergente (FDN)

La FDN está relacionada con el total de la fibra de un forraje o también considerada pared celular, esta fracción contiene celulosa, hemicelulosa y lignina, está relacionada con el consumo de MS de los rumiantes y a su vez se correlaciona negativamente con la digestibilidad de los alimentos y el llenado físico del animal (Harris, 1993) y (Sánchez, 2000) y por consiguiente con su aporte de energía.

La Figura 7 muestra el contenido de FDN (%) de los diferentes tratamientos experimentales. Al analizar esta variable se puede observar que los tratamientos SCD y MCB alcanzaron los contenidos más bajos de FDN (38,30 y 37,50%, respectivamente) y los tratamientos MCA y

MCP los más altos (41,00 y 40,80%, respectivamente) y no se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos SCD, MCA y MCP. Sin embargo, el tratamiento MCB se alcanzó el valor más bajo de FDN (37,50%) y este mostró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) con respecto a los demás tratamientos experimentales.

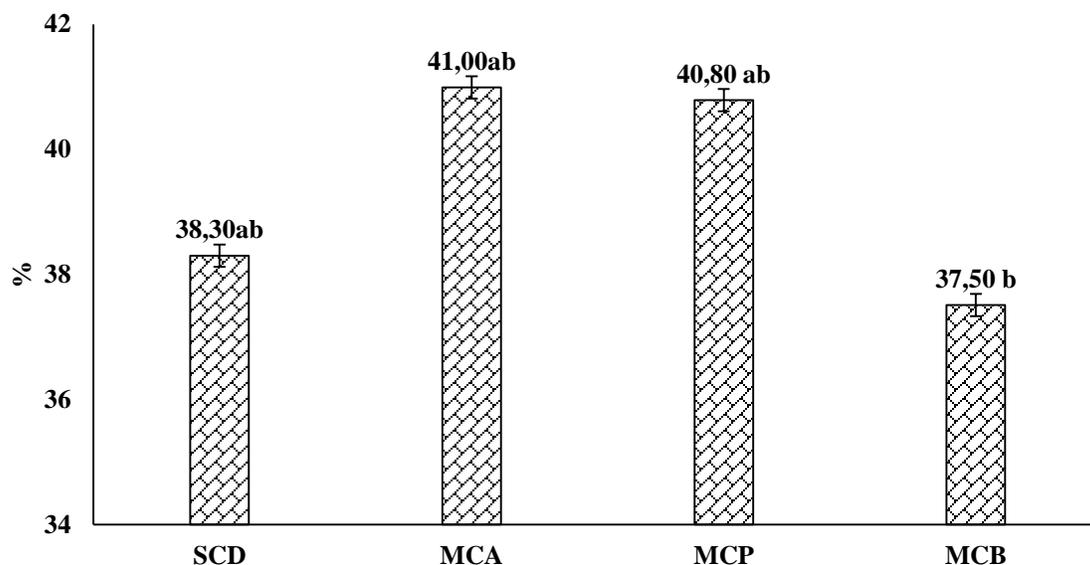


Figura 8. Contenido de fibra neutro detergente (FDN) según tratamiento experimental. a, b, c medias con diferentes letras difieren significativamente para ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Tukey 1953).

Los valores de FND que se alcanzaron en los tratamientos SCD y MCB (38,30 y 37,50%, respectivamente) son similares a los resultados obtenidos por Gómez (2008), quien reportó contenidos entre 37,00 y 38,00% de FDN cuando evaluó granos de maíz amarillo y blanco en un sistema productivo de FVH.

En el FVH los contenidos de FDN son más bajos que los encontrados en los forrajes tropicales cultivados en el campo, porque este material proviene de plantas cosechadas en una etapa fisiológica temprana, en la cual el desarrollo de la pared celular no está completo, y se presentan valores bajos de lignina. Según Herrera (2007) la cantidad de FDN en plantas jóvenes es baja al compararlo con plantas maduras, debido a que la estructura de la fibra cambia a medida que evoluciona la planta, pues se hace más lignificada y, por lo tanto, menos digestible.

Al comparar los resultados de FDN en los diferentes tratamientos experimentales se encontró que los tratamientos SCD y MCB fueron los que presentaron los menores contenidos de FDN, este resultado está posiblemente influenciado por la presencia de un menor grosor del pericarpo en los granos de maíz de estas variedades, ya que a mayor pericarpo en el grano podría existir un mayor contenido de FDN, sin embargo, este contenido no se evaluó en esta investigación.

Además, podría existir una relación entre la productividad de los materiales y el contenido de FDN, debido a que en los tratamientos donde se alcanzó una mayor producción de biomasa MCA y MCP se presentaron los contenidos de FDN más elevados (41,00 y 40,80%, respectivamente). Se estima que la respuesta fisiológica de estos materiales al ambiente imperante en el invernadero y a la solución nutricional aplicada fue mejor y esto les permitió posiblemente acelerar el crecimiento fisiológico y la maduras de las plantas incidiendo en sus contenidos de FDN.

Los forrajes son los alimentos donde más variaciones de digestibilidad se presentan y la principal causante es el estado de madurez; a medida que aumenta la madurez de la planta, disminuye su contenido de proteína y de azúcares, y se eleva el de fibra, principalmente celulosa y lignina (Maynard *et al*, 1995 y Shimada, 2003). Según Herrera (2007) valores de FDN superiores al 55% dificultan la digestibilidad de un forraje, debido a que se limita el aprovechamiento eficaz del contenido calórico del alimento.

Lo indicado anteriormente evidencia una relación estrecha entre el estado fisiológico de las plantas, el contenido de fibra (tanto en FDN y FDA), el consumo y la digestibilidad de un alimento. Esta relación queda claramente reflejada en el presente estudio, donde los materiales de maíz evaluados para la producción de FVH que presentaron valores de FDN y FDA más bajos fueron los que alcanzaron los contenidos de DIVMS más altos, con valores superiores al 67,50%.

5.5.3 Fibra ácido detergente (FDA)

La FDA es el residuo que queda luego de someter a la FDN a una solución de detergente ácido (ácido sulfúrico y bromuro de acetil-trimetilamonio). En este proceso se extrae la

hemicelulosa, de tal forma que la fibra remanente estará constituida solo por celulosa y lignina (Bassi 2006).

Al analizar esta variable en los tratamientos experimentales se puede apreciar que se presentó un comportamiento muy similar a la FDN, Figura 7. El valor de FDA de los tratamientos varió desde 21,50 % en el tratamiento MCB, hasta 23,60 % en el tratamiento MCA.

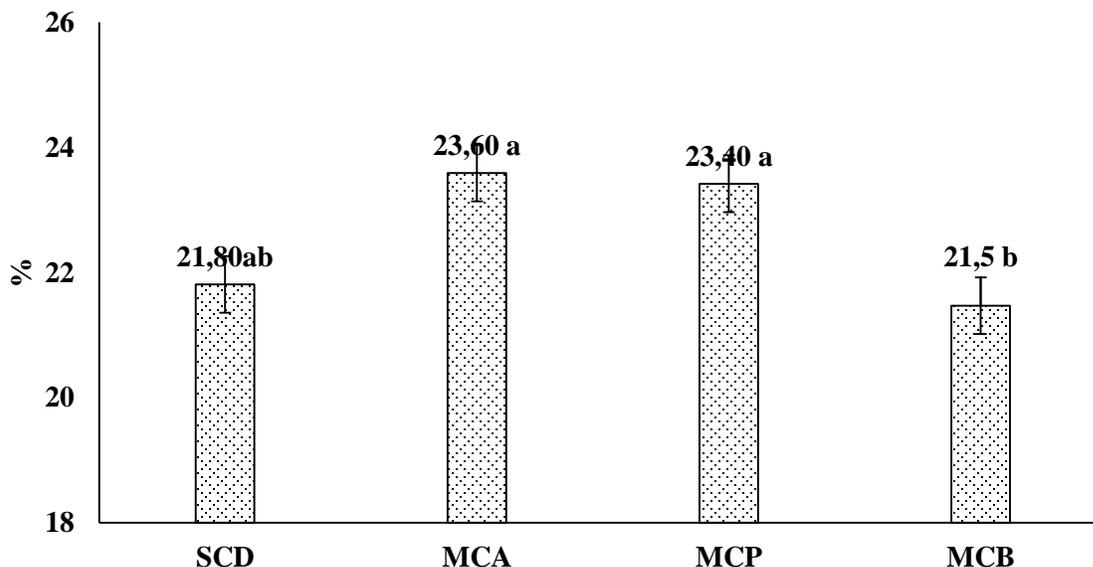


Figura 9. Contenido de fibra ácido detergente (FDA) según tratamiento experimental. a, b y c son medias con diferente letra difieren significativamente para ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Tukey 1953).

Los tratamientos SCD, MCA y MCP no presentaron diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre sí, el tratamiento MCB alcanzó el valor más bajo de FDA (21,50 %) y este mismo tratamiento presentó una diferencia significativa ($P \leq 0,05$) con respecto a los tratamientos MCA y MCP.

Los valores de FDA que se obtuvieron en los diferentes tratamientos experimentales son mayores a los encontrados en investigaciones desarrolladas por Vargas, C (2008) quien reportó un promedio de FDA de 18,89% cuando trabajó en la producción de FVH con maíz, arroz y sorgo negro forrajero y cosechando a los 10 días el FVH.

Considerando que la FDA es la porción de la fibra que contiene solamente la celulosa y lignina, y donde se excluye a la hemicelulosa, que es el carbohidrato estructural más digestible, se podría predecir que cuando el FVH presentó un menor porcentaje de FDA este

tenía que ser más digestible, situación que se comprobó al comparar los resultados de FDN, FDA con la DIVMS de los tratamientos evaluados, debido a que los materiales de maíz que presentaron el menor contenido de FDN y FDA (tratamientos SCD y MCB) fueron los que alcanzaron los valores más elevados de DIVMS (69,80 y 67,50%, respectivamente). Según Salazar (2014), los altos niveles de FDA disminuyen considerablemente la digestibilidad, lo que significa que gran parte de los nutrientes que el animal come, no son aprovechados y son excretados en las heces.

Las diferencias en el contenido de FDA que se presentaron entre los tratamientos SCD y MCB con respecto a los MCA y MCP, posiblemente fueron se debieron a los mismos factores que se explicaron en la FDN.

5.5.4 Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)

Esta variable representa una estimación del aprovechamiento que podría hacer un rumiante si consumiera cada uno de los materiales de FVH evaluados. En la Figura 9 se muestran los valores promedio de DIVMS (%) de los diferentes tratamientos experimentales. La DIVMS varió desde 67,50 % en tratamiento MCP hasta alcanzar 72,4% en el tratamiento SCD.

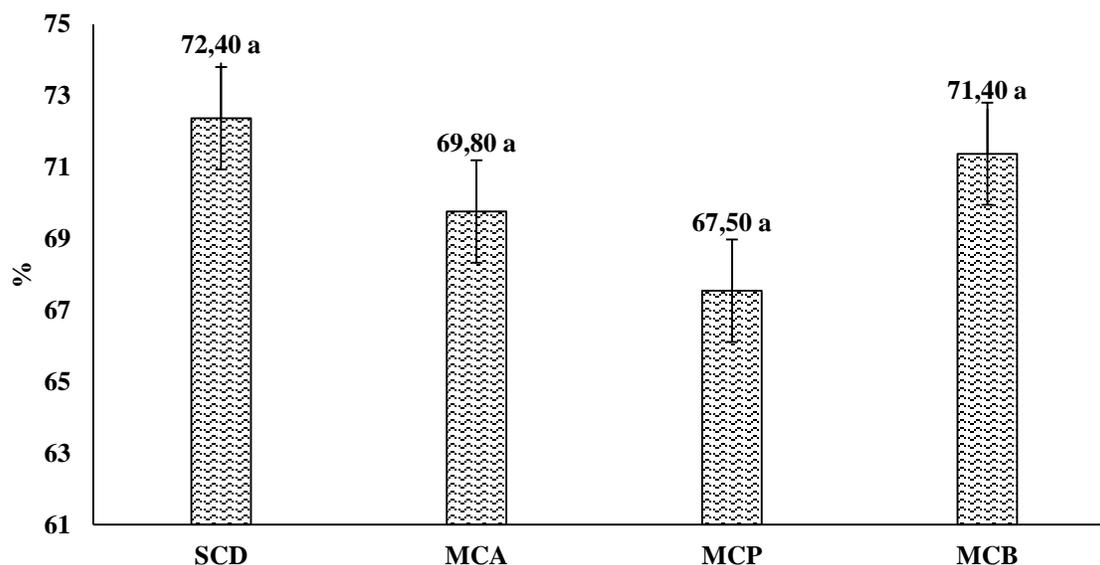


Figura 10. Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) según tratamiento experimental.

a, b y c medias con diferentes letras difieren significativamente para ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Tukey 1953).

La DIVMS del FVH mostró un comportamiento interesante, obteniendo valores de 67,5%, 69,80%, 71,40%, y 72,40 para los tratamientos MCP, MCA, MCB y SCD respectivamente (figura 9). No se observaron diferencias significativas ($P \geq 0,05$) entre los diferentes tratamientos a pesar de existir diferencias nominales de hasta 5% en algunos promedios, esto se debió principalmente a un número de muestras menor o una “n” menor, este análisis es muy caro por lo que la “n” para esta variable fue de 20 muestras solamente y no de 40, como la empleada en los demás análisis de composición bromatológica, esto permitió un error estándar mayor.

Los tratamientos MCA y MCP, son los que presentan la DIVMS más baja, este resultado está relacionada como ya se mencionó, con la cantidad de FDN y FDA que presentaron estos materiales, ya que se demostró que a menor cantidad de FDN y FDA mayor será la DIVMS.

Los valores de DIVMS que se obtuvieron en los diferentes tratamientos experimentales son superior a los reportados por López (2009), quien alcanzó valores de 64,30; 66,50 y 66,70% de DIVMS al evaluar FVH de maíz a tres densidades de siembra 1,50; 2,00 y 2,50 Kg/m², a estos materiales solo se les adicionó agua en el riego y fueron cosechados a los 12 días.

El tratamiento SCD fue el que presentó el mayor valor absoluto de DIVMS, este resultado pudo estar relacionado a que la semilla de Diamantes es un material que fue seleccionado para tener un alto potencial genético, que a pesar de no presentar un alto rendimiento de biomasa esta característica posiblemente le permitió superar los demás materiales criollos evaluados en términos de DIVMS.

Según Marco (2011) un forraje es considerado de alta calidad nutricional si supera un 70% de DIVMS, tiene menos de 50% de FDN y más de 15% de PC, y, por el contrario, se considera de baja calidad nutricional si presenta menos de un 50% de DIVMS, tiene un contenido de FDN superior del 65% y la PC es menor del 8%.

La referencia, anterior nos permite afirmar que el FVH de maíz certificado y también el producido con variedades criollas de maíz es un material de alta calidad nutricional, debido a que los tratamientos SDC Y MCB alcanzaron valores promedio DIVMS, FDN y PC de 70,27; 39,40 y 15,71% respectivamente.

5.5.5 Cenizas

Como se mencionó, las cenizas de un forraje están constituidas por la materia inorgánica (o minerales), así como los contaminantes inorgánicos como la tierra y arena (García *et al.*, 2003 y CINA 2015).

En la Figura 10 se muestra el porcentaje de cenizas de los diferentes tratamientos experimentales, El valor promedio de cenizas del FVH evaluado vario desde 5,8% en el tratamiento SCD hasta 11,00% en el tratamiento MCP (Cuadro 5). El análisis estadístico demostró que no se presentaron diferencias significativas ($P \geq 0,05$) entre los tratamientos experimentales.

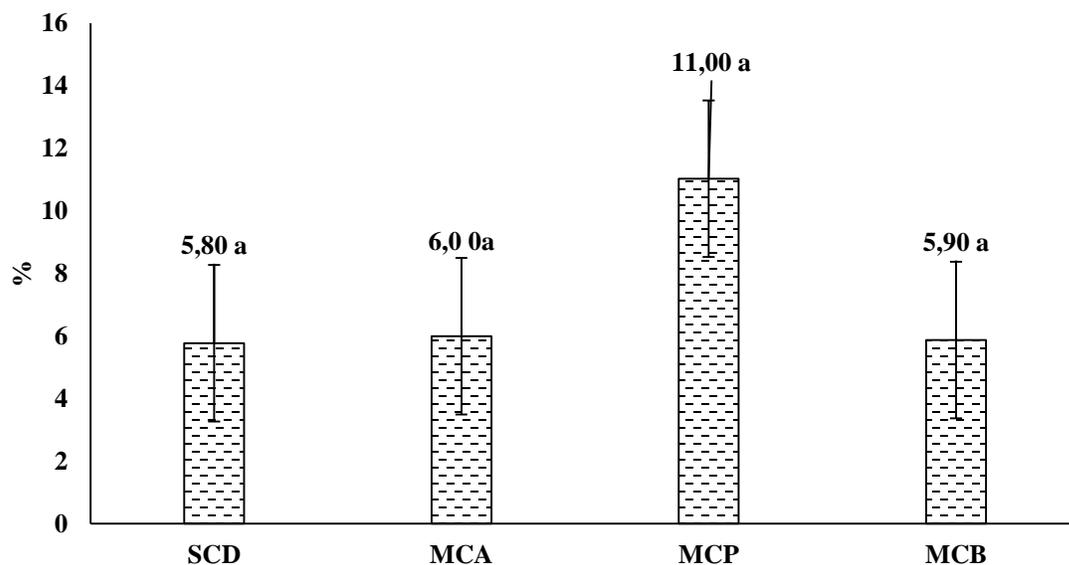


Figura 11. Contenido de cenizas según tratamiento experimental.

a, b y c medias con diferentes letras difieren significativamente para ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Tukey 1953).

El contenido de cenizas permitió conocer la concentración de minerales en el FVH cosechado con los diferentes materiales de maíz evaluados, los tratamientos SCD, MCA y MCB presentaron niveles similares de cenizas (5,80; 6,00 y 5,90%, respectivamente). El porcentaje de ceniza más alto lo alcanzó el tratamiento MCP con un promedio de 11,00%, este resultado es superior al reportado por León (2005) quien obtuvo un promedio de 1,84% de cenizas al evaluar la producción de FVH de maíz expuesto bajo condiciones de diferentes fotoperiodos 12,18 y 24 horas luz.

Sin embargo, los valores de cenizas que se mostraron en esta investigación son similares a los reportados por Vargas, C (2008), quien alcanzó valores de 9,17 y 6,54% en FVH de arroz y sorgo, respectivamente.

El alto contenido de cenizas que se presentó en el tratamiento MCP, pudo estar influenciado a factores tales como: a) fertilización que recibió el cultivo del maíz Pico de gallo en el campo, y esto repercutió en las reservas nutricionales almacenadas en los granos, b) diferencias en el grosor de la cutícula de los granos, esta pudo ser más gruesa en el maíz Pico de Gallo que la presente en las demás variedades de maíz evaluadas, aunque esta variable no se midió, c) este fue el tratamiento que presentó los mejores rendimientos de biomasa y esto permite pensar que se adaptó mejor al microclima del invernadero y d) también podría estar relacionado con el genotipo que presentó esta semilla.

Según Ramírez (2016), otro factor que puede influenciar la calidad nutricional del FVH es la nutrición que se utilice durante el periodo de crecimiento, aunque en el presente estudio solo se utilizó solución nutritiva del día 5 al día 9, y la misma fue aplicada de igual manera en todos los tratamientos experimentales, es posible que algunas variedades de maíz criollo hicieran un uso más eficiente de los nutrientes.

5.6 Valoración económica del FVH

La producción de FVH ha sido marginada durante varios años por ser un material forrajero de alto costo, donde el principal responsable es el alto precio de las semillas certificadas utilizadas para su producción, demás los análisis de rentabilidad que se han publicado, en su mayoría fueron desarrollados en modelos de pequeña escala, como el que se implementó en esta investigación.

Por esta razón resultó fundamental hacer un análisis de costos y determinar si las variedades de maíz criollo grano comercial representan una disminución o tiene un efecto en el costo de producción del FVH de maíz.

Al realizar una valoración económica de la producción de FVH en los diferentes tratamientos experimentales, se encontró un costo promedio de 11,17; 2,49; 2,13 y 2,63 \$/Kg MS en los tratamientos SCD, MCA, MCP y MCB respectivamente, Figura 11.

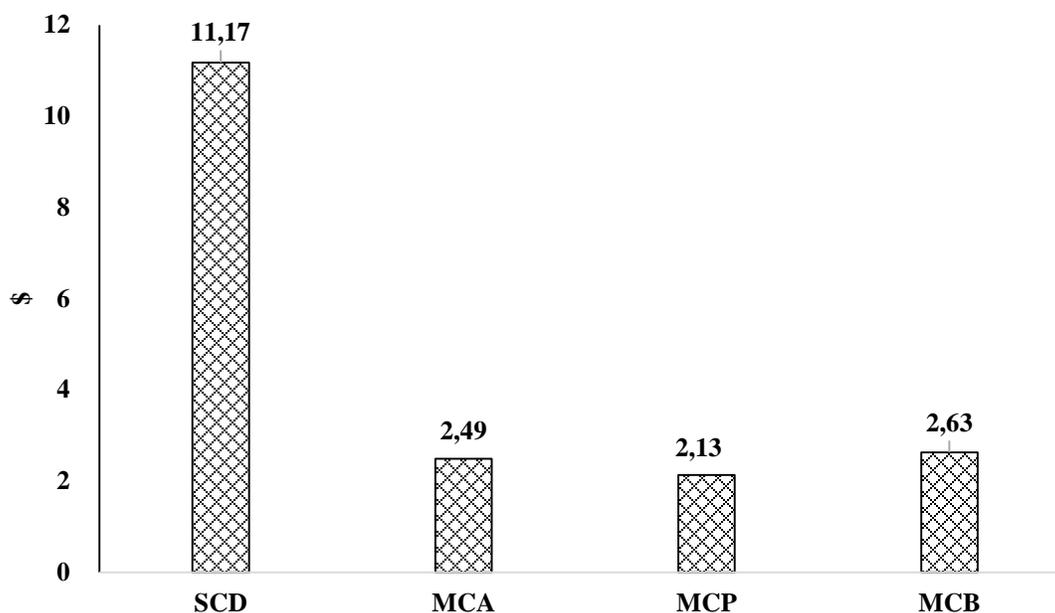


Figura 12. Costos de producción por Kg de materia seca según tratamiento experimental a, b y c medias con diferentes letras difieren significativamente para ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Tukey 1953).

En la figura anterior se puede apreciar que el tratamiento SCD fue el que alcanzó el mayor costo de producción por Kg/ MS (\$11,17), este alto costo de producción está relacionada a que se utilizó semilla certificada de Diamantes, variedad de maíz que en el mercado nacional tiene un precio mucho más elevado que los variedades criollas o granos comerciales evaluados.

El costo de producir un Kg de FVH en MS utilizando semilla de maíz criollo es inferior al obtenido por Meza (2005), quien reportó valores de 12,70 y 8,92 \$/Kg de FVH de maíz de dos variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, con dos densidades de siembra (2 y 3 Kg m², respectivamente). Estos resultados demuestran que utilizar variedades criollas de maíz permiten una disminución en el costo por Kg de MS del FVH al compararlo con semilla certificada.

Cabe destacar que los costos de producción del FVH de maíz que se mostraron en el presente estudio son altos debido a que se realizó una valoración económica a pequeña escala y de carácter investigativo, lo cual podría sugerir que implementar esta tecnología en una modelo de alta producción en una finca podría reducir los costos de producción.

6. CONCLUSIONES

El manejo agronómico que implementan los productores de maíz comercial en el campo resulto muy similar, a pesar de estar ubicados en diferentes zonas del país, lo cual ayudo a obtener una adecuada calidad del grano y la generación de menores costos en la producción del FVH.

Las variedades de maíz criollo demostraron un alto potencial para la producción de FVH, debido a que alcanzaron una buena viabilidad, porcentajes de germinación superiores al 90%, y oportunidades de mejora para reducir la incidencia de aflatoxinas, relacionadas con las condiciones del almacenamiento del grano en general.

El FVH utilizando las variedades de maíz criollo demostraron obtener buenos rendimientos al compararlos con el maíz Diamantes. El material Pico de Gallo rojo (MCP) alcanzó los mejores rendimientos productivos, mayor altura de planta (24,90 cm) y de producción de biomasa verde y seca (19,4 y 1,54 Kg/m², respectivamente).

Al evaluar la calidad nutricional del FVH utilizando grano de maíz comercial se encontró que el contenido de proteína cruda fue superior al del FVH de maíz Diamantes. Además, al relacionar el porcentaje de proteína con la producción de biomasa seca por m², se mostró que el tratamiento MCP (maíz pico gallo) alcanzó el mayor aporte de proteína (233, 5 g/m²).

En las demás variables de calidad nutricional los tratamientos SCD y MCB presentaron resultados similares, mostraron los menores contenido de FDN y FDA y esta característica les permitió alcanzar los valores más altos de DIVMS (69,8 y 67,5%, respectivamente). Cabe resaltar que FVH de maíz Diamantes (SCD) obtuvo el porcentaje más alto de DIVMS con un 72,4 %.

Según los resultados obtenidos el FVH de maíz se puede considerar un alimento con bajo contenido de materia seca pero alta calidad nutricional, con valores promedio de DIVMS, FDN y PC de 70,27; 39,4 y 15,71% respectivamente, estas características lo podrían señalar como una buena alternativa de alimentación de animales.

La valoración económica realizada en este estudio determinó que el costo promedio de producir un Kg de FVH de maíz grano criollo es de 2,41 \$/Kg MS, y este es 78,42% más barato que producir FVH con semilla certificada de maíz Diamantes.

Los costos del FVH que se obtuvieron en el presente estudio son altos debido a que se realizó la valoración económica a pequeña escala y de carácter investigativo, estos podrían disminuir considerablemente al ser replicados en un modelo de alta producción.

Los resultados obtenidos sugieren que no es necesario el uso de semillas certificadas ni de alta tecnología para desarrollar proyectos de FVH, la utilización de variedades criollas de maíz minimiza los costos y ayuda a mejorar la rentabilidad del proceso.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de semilla de maíz grano comercial para la producción de FVH, la cual se puede producir en las mismas fincas, eso sí garantizando el cumplimiento de todas las buenas prácticas agronómicas para garantizar una buena calidad de grano y disminuir los costos por la compra de semilla certificada, que son la principal negativa para implementar esta tecnología.

Se debe hacer una mayor experimentación de este ensayo en las diferentes épocas del año, con el fin de determinar si variables como horas luz y estación afectan el rendimiento productivo del FVH durante el año.

Debido a la importancia que tiene la calidad de semilla en la producción de FVH, se recomienda que los productores realicen análisis de calidad, germinación y contenido de aflatoxinas al lote de semilla a utilizar, aunque posiblemente representará un costo adicional por el precio de los análisis, puede evitar problemas en la salud de los trabajadores y pérdidas de material durante la producción de forraje.

Tomando en cuenta las experiencias vividas durante el desarrollo de este trabajo, es importante que se realice más investigación alrededor de la densidad de siembra a usar, el período de imbibición de la semilla, mejorar los protocolos de desinfección de las semillas y tratar de disminuir de costos en equipo y mano de obra (aprovechamiento de mano de obra familiar).

Es de suma importancia realizar un análisis del agua de riego para determinar su calidad, debido a que podría estar contaminada con hongos y bacterias que en un medio de alta humedad se multiplicaran y generarían pérdidas del FVH.

8. LITERATURA CITADA

- A.O.A.C (Association of official agricultural chemist). 1970. Official methods of analysis. Association of Official Agricultural Chemist, 9th edition, 830 pp. Washington (USA).
- A.O.A.C (Association of official agricultural chemist). 1984. Official methods of analysis. 9th edition, 832 pp. Washington (USA).
- A.O.A.C (Association of official agricultural chemist). 1991. Official methods of analysis. 9th edition, 832 pp. Washington (USA).
- A.O.A.C (Association of official agricultural chemist). 2001. Official methods of analysis. 9th edition, 831 pp. Washington (USA).
- A.O.A.C (Association of official agricultural chemist). 2012. Official methods of analysis. Association of Official Agricultural Chemist, 9th edition, 834 pp. Washington (USA).
- Abarca, P. 2014. Producción de forraje verde hidropónico (FVH). INIA, Chile. 2p.
- Abarca, S. 2013. Cambio climático y la mitigación en fincas lecheras. Revista UTN Informa. Costa Rica. (63). pp 28-31.
- Acosta, N. 2016. Evaluación de la biomasa hidropónica de maíz como alimento para caprinos criollos en crecimiento-ceba. (En línea). Consultado 6 setiembre 2017. Disponible en: http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7320/Nestor%20Acosta_Tesis%20PhD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alarcón, L. 2012. Guía técnica el cultivo de maíz (en línea). Consultado 1 setiembre 2017. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>
- Altieri S. 1976. Regulación Ecológica de Plagas en agroecosistemas tropicales. En: Ejemplo: Mono y policultivo de maíz y frijol, diversificados con malezas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 150p.
- Altieri, M. 2014. Agroecología: principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria. Universidad de California, Berkeley (en línea). Consultado 1 setiembre 2017. Disponible en: http://ambiental.uaslp.mx/Agricultura/2002%201-Altieri%20Agroecologia_principios_y_estrategias.pdf

- Andrade, M. 2006. Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov) en la producción de ganado lechero en Costa Rica. Tesis presentada para optar por el título de Ingeniero Agrónomo con el grado académico de Licenciado en Zootecnia. Escuela de Zootecnia. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- Arrechea, M. 2010. Respuesta productiva de un cultivo de maíz ("*Zea mays*" l. var. dracma) a distintas dosis de nitrógeno con dos tipos de riego (aspersión e inundación) y efecto sobre la lixiviación de nitratos (en línea). Consultado 7 setiembre 2017. Disponible en: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/4443/577650.pdf?sequence=1>
- Avalos, L. 2012. Evaluación agronómica de cinco híbridos simples de maíz (*Zea mays* l.) en comparación con tres testigos en la zona de Quevedo durante la época lluviosa. (En línea). Consultado 21 octubre. 2016. Disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:NhxFKUkZAgAJ:repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2246/1/T-UTEQ-0055.pdf+&cd=9&hl=es&ct=clnk&gl=cr>
- Avendaño, C. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. (En línea). Consultado el 18 de enero del 2016. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_meso/v19n01_027.pdf
- Baltazar, H. 2014. Evaluación de la habilidad combinatoria específica de 22 líneas experimentales de maíz (*zea mays* l.), en la estación experimental de Tulumayo. Tingo María, Perú
- Bassi, T. 2006. Conceptos básicos sobre la calidad de los forrajes. Cátedra de Manejo de Pasturas Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Lomas de Zamora
- Boege, E. 2013. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México, hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas (en línea). Consultado el 18 de enero del 2016. Disponible en: http://www.cdi.gob.mx/biodiversidad/biodiversidad_0_preliminares_1-31_eckart_boege.pdf
- Bonilla, N. 2008. Manual de recomendaciones técnicas Cultivo de maíz. INTA. San José, Costa Rica. p.10- 27.

- Caballo, M. 2011. Manual de procedimientos para granos para la alimentación animal. Culiacán Sinaloa. pp. 128-175.
- Cajamarca, L. 2016. Evolución del Maíz. Ecología y medio Ambiente. (En línea). Consultado el 18 de enero del 2016. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/295757660/Evolucion-Del-Maiz>
- Calzada, J. 2015. Agenda técnica agrícola (en línea). Consultado el 18 de enero del 2016. Disponible en: http://extensionismo.sagarpa.gob.mx/web2/documentos/agenda_tecnica/F05_Chiapas.pdf
- Camero, A. 2008. Degradación ruminal de forrajes tropicales cuando se sustituye king grass por morera (en línea). Consultado 22 octubre. 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6320S/X6320S00.HTM>
- Campêlo, J. 2007. Forragem de milho hidropônico produzida com diferentes substratos. Rev. Bras. Zootec., 36(2): 276-281.
- Carballido, D. 2005. Forraje verde hidropónico (en línea). Consultado 22 octubre. 2016. Extraído de: www.usuarios.lycos.es/forrajehidroponico.24/04/06
- Cárcamo, I. 2011. Biodiversidad, Erosión y Contaminación Genética del Maíz Nativo en América Latina (en línea). Consultado el 18 de enero del 2016. Disponible en: <http://www.rallt.org/PUBLICACIONES/maiz%20nativo%20AL.pdf.pdf>
- Castillo, P. 2013. Evaluación de diferentes sustratos y nutrientes para el crecimiento agroecológico de una especie forrajera en hidroponía. Trabajo de Investigación (Graduación). Modalidad: Trabajo Estructurado de Manera Independiente (TEMI). Presentado como requisito previo a la obtención del Título de Ingeniera Bioquímica a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica. Universidad Técnica de Ambato. Ambato. Ecuador.
- Castro, A. 2006. Forraje hidropónico para alimentar cabras (en línea). MAG. Costa Rica. Consultado 04 de mayo 2015. Disponible en www.mag.go.cr/bibliotecavirtualanimal/cabra_hidro.htm
- Cepeda, A. 2015. Manejo y Control de Malezas en Maíz (en línea). Consultado el 18 de enero del 2016. Disponible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210732.pdf>

- Chemey. 2005. Timing corn forage harvest for bunker silos Agron. J. 97:142-146.
- CINA (Centro de Investigación en Nutrición Animal). 2015. Laboratorio de Bromatología de Forrajes de la Universidad de Costa Rica. (En línea). Consultado el 18 de enero del 2016. Disponible en: <http://www.cina.ucr.ac.cr/index.php/2015-10-28-20-54-43/laboratorio-debromatologia>
- Cisneros, 2006. Forraje verde hidropónico, una alternativa para la alimentación animal en los programas de la agricultura urbana. AGROMAS (CD).
- Cisneros, M; López, B; Ruesga, I. 2006. Forraje verde hidropónico, una alternativa para la alimentación animal en los programas de la agricultura urbana. AGROMAS (CD)
- Coll, J. 2012. Fisiología vegetal. Madrid. Ediciones Pirámide. 662 p
- Cornejo, J. 2010. Antecedentes generales sobre las aflatoxinas y otras micotoxinas y elementos a tener en cuenta para el diseño de prácticas correctas de cultivo y elaboración de nueces División de Políticas Públicas Saludables y Promoción Departamento de Alimentos y Nutrición. Chile. (En línea). Consultado 22 julio 2017. Extraído de: <http://web.minsal.cl/portal/url/item/72fd6274dad8792ee04001011f0109e4.pdf>
- Cruz, O. 2013. Manual para el cultivo del maíz en honduras. (En línea). Consultado 22 agosto 2016. Disponible en: <http://www.dicta.hn/files/Manual-cultivo-de-MAIZ--III-EDICION,-2013.pdf>
- Cruz, O. 2017. Manual para el cultivo del maíz en honduras. (en línea). Consultado 22 agosto 2016. Disponible en: <http://www.dicta.hn/files/2017-El-cultivo-del-maiz,-g.pdf>
- Dávalos, P. 2012. Pueblos Indígenas, Estado y democracia, Buenos Aires, Argentina. (En línea). Consultado 22 julio 2016. Disponible en: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/gt/20101026123521/davalos.pdf>
- Díaz, A. 1993. Morfología y Fisiología del maíz en Colombia. En: IICA-Prociandino. 1993. 56p.
- Díaz, F. 2007. Evaluación de Producción, Crecimiento y Calidad de Forraje Verde Hidropónico (Sorghum vulgare Sudangrass Hybrid) en diferentes Mezclas de Soluciones Nutritivas Orgánicas. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. (En línea). Consultado 22 julio 2016. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6021/T16495>

- [%20%20%20D%C3%8DAZ%20GONZ%C3%81LEZ%2C%20SERGIO%20FRANCISCO%20TESIS.pdf?sequence=1](#)
- Duarte, C.M. 2006. Cambio Global. Impacto de la Actividad Humana sobre el Planeta Tierra. España: ESIC.7 p.
- EEAFBM, 2016. Datos climatológicos de la estación Fabio Baudrit la garita de Alajuela. Extraído de: <http://www.eefb.ucr.ac.cr/servicios/datos-climatologicos-imm-eeafbm-ucr>
- Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz (PDF Download Available). Available from: https://www.researchgate.net/publication/321120067_Efecto_de_la_nutricion_mineral_sobre_la_produccion_de_forraje_verde_hidroponico_de_maiz
- Elizondo, J. 2002. Forraje verde hidropónico. Una alternativa para la producción animal. Revista ECAG informa (32). p.36-39.
- Espinoza, I. 2016. Características fermentativas y nutritivas de ensilajes de forrajes tropicales con diferentes niveles de inclusión de residuos agroindustriales de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*). (En línea). Consultado 20 octubre. 2015. Disponible en: <http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/14509/2017000001551.pdf?sequence=1>
- Estrada, F. 2014. Inventario de tecnologías “maíz-región brunca” marco del proyecto regional presica”). (En línea). Consultado 20 octubre. 2015. Disponible en: <http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/00/00550-.pdf>
- Experiencia en el cultivo del maíz en el área Andina. Vol II. Editorial: Prociandino. QuitoEcuador.
- Eyhérbide, G. 2014. Bases para el Manejo del Cultivo de Maíz (en línea). Consultado 7 junio 2017. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_bases_para_el_manejo_de_maiz_reglon_100-2_2.pdf
- Fajardo, S. 2015. Manual Técnico del Buenas Prácticas Cultivo de Maíz bajo Agrícolas (en línea). Consultado 7 junio 2017. Disponible en: <http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20MAIZ.pdf>

- Fanfan, E. 2014. Influencia de la fertilización orgánica, biológica y mineral en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays, L*) en un suelo Pardo sin carbonatos mullido del municipio Tunas_(en línea). Consultado 19 agosto 2017. Disponible en: <http://roa.ult.edu.cu/bitstream/123456789/3158/1/FF%20ultima.pdf>
- FAO. (Food and Agriculture Organization). 2001. Manual técnico forraje verde hidropónico (en línea). Consultado 20 julio. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-ah472s.pdf>
- FAO. (Food and Agriculture Organization). 2002. Forraje verde hidropónico Santiago. Chile ([http /Avvvvvv.fao.org/Regionai/LAmerica/proor.segal.m.forraie.htm](http://Avvvvvv.fao.org/Regionai/LAmerica/proor.segal.m.forraie.htm)) 69 p
- FAO. (Food and Agriculture Organization). 2013. Cambio climático y la ganadería (en línea). Consultado 20 octubre. 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/climatechange/49380/es/>
- Fenalce, T. 2010. Avances de la Investigación en Cereales y Leguminosas. Revista No. 95, Octubre-Diciembre, 2010. 56p. Flores, H. 2014. Guía técnica el cultivo de maíz. Consultado 19 agosto 2017. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>
- Fernández, S. 2012. Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa de producción y comercialización de FVH ubicado en la parroquia el valle perteneciente al cantón cuenca (en línea). Consultado 20 octubre. 2015. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2983/1/UPS-CT002495.pdf>
- Galileo, G. 2014. Innovación para el desarrollo: una visión para la sostenibilidad de la agricultura familiar. Consultado 19 agosto 2017. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B4124e/B4124e.pdf>
- Gallardo, M. 2010. Concentrados y subproductos para la alimentación de rumiantes (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 20 octubre. 2015. Disponible en: <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/NUTRICION/TEORICOS/Tema%202.%20Material%20de%20lectura.%20Concentrados%20y%20subproductos.pdf>
- García, A.; Thiex, N.; Kalscheur, K. (2003). *Interpretación del análisis del ensilaje de maíz*. College of Agriculture & Biological Sciences de SDSU. South Dakota State University.

- García, M. 2008. Manejo eficiente de nutrientes en el cultivo del maíz en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas FENALCE. Bogotá. 127 p.
- Gear, J. 2012. Maíz y Nutrición, Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. 4p.
- Gómez, J. 2008. Evaluación de la producción y la composición nutricional de tres tipos diferentes de forraje hidropónico. Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura. Zamorano, Honduras.
- Gonzales, E. 2015. Producción de forraje verde hidropónico de maiz *Zea mays*. L. en invernadero con diferentes niveles de silicio (en línea) .Recuperado el 2 de octubre del 2017. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v32n1/v32n1a07.pdf>
- Guerrero, E. 2014. Erosión genética en la biodiversidad agrícola. Recuperado el 21 de octubre del 2015. Disponible en: https://www.sai.com.ar/metodologia/rahycs/rahycs_v2_n1_06.ht
- Gutiérrez, P. 2015. Estrategias de adaptación ante el cambio climático en granos básicos: maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) en cinco comunidades de San Ramón, Matagalpa 2014. Consultado 19 agosto 2017. Disponible en: <http://repositorio.unan.edu.ni/3221/1/5628.pdf>
- Harris, B. 1993. Value of high-fiber alternative feedstuffs as extenders of roughage (en línea) Recuperado el 2 de octubre del 2017. Disponible en: http://www.inform.umd.edu/EdRes/Topic/AgrEnv/ndd/feeding/value_of_high-fiber_alternative_feedstuffs.html
- Hernández, A. 2016. Almacenamiento y conservación de granos y semillas (en línea). Recuperado el 16 de enero del 2018. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Almacenamiento%20de%20semillas.pdf>
- Hernández, O. 2012. Manual de Agricultura de Conservación (en línea) .Recuperado el 21 de octubre del 2016. Disponible en: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cuba_manual_ac.pdf

- Herrera, L, A. Depablos-Álviárez, R. López-Maduro, M. A. Benezra-Sucre y L. Ríos-de Álvarez. 2007. Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje hidropónico de maíz (*Zea mays*). Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso. *Rev. Cient. Univ. Zulia* 17: 372-379.
- IPCC, 2007. Fourth Assessment Report (AR4). Intergovernmental Panel on Climate Change (en línea). Recuperado el 21 de octubre del 2015. Disponible en: URL: <http://ipcc-wg1.ucar.edu/index.html>.
- Juaréz LP, 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente* Año 3 No.8.
- Kichel, A. 2012. Sistemas de integracaolavoura-pecuaria-floresta e o progresso do setoragropecuário brasileiro. En: *Sistemas de integracaolavoura-pecuária-floresta: a producaosustentavel*. Editor Bungenstab, 2ª edicao. Embrapa. Brasilia.
- Kjeldahl, J. 1883. A New Method for the Determination of Nitrogen in Organic Matter. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 22, 366-382
- Labrada, A. 2011. Evaluación agroproductiva de dos cultivares de maíz (*Zea mays*, lin.) en un suelo ferralítico amarillento típico (en línea). Consultado 5 julio 2016. Disponible en:
<http://roa.ult.edu.cu/bitstream/123456789/955/1/Carlos%20Labrada%20Horta.pdf>
- Lallana, V. 2011. El Proceso de la germinación. Cátedra de FISILOGIA VEGETAL Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional de Entre Ríos. Oro Verde, Paraná, Argentina (en línea). Consultado 5 julio 2016. Disponible en:
[http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/WEBFV_2010/mat_did/UT_FV11\(2da%20Parte\).pdf](http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/WEBFV_2010/mat_did/UT_FV11(2da%20Parte).pdf)
- Lardizabal, R. 2010. Compendio de Manuales de Producción de Frutas y Hortalizas. Lima, Honduras (en línea). Consultado 5 julio 2016. Disponible en:
http://www.agronegocioshonduras.org/wpcontent/uploads/2014/06/compendio_de_11_manuales.pdf
- León, S. 2005. Efecto del fotoperiodo en la producción de Forraje Verde Hidropónico de maíz con diferentes soluciones nutritivas para la alimentación de conejos en el período de engorde. Tesis de Grado para la 70 obtención del título de Ingeniera Zootecnista. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador

- López, B; Cisneros, M; Valdivié, M; Sotto, V; Savón, L. 2012. Hidroforraje de *Leucaena leucocephala* para alimentar conejos. *Revista producción animal*. 24(1): 1-9.
- López, F. 2017. Evaluación de tres híbridos de maíz (*zea mays* l.) con tres distancias de siembra (en línea). Consultado 30 julio 2014. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21554/1/Valarezo%20Torres%20Patricia%20Ver%C3%B3nica.pdf>
- López, M. 2011. Establecimiento y Manejo de Sistemas Silvopastoriles (en línea). Managua, Nicaragua. Consultado 5 ene. 2016. Disponible en: www.magfor.gob.ni/descargas/estudios/POSAF.Manual%20para%20el%20establecimiento%20de%20SSP.pdf
- López, P. 2013. Efectos de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*zea mays*) variedad NB6, en un invernadero no tradicional (en línea). Consultado 30 julio 2014. Disponible en: <http://repositorio.una.edu.ni/2751/1/tnf04l864l.pdf>
- López, R. 2009. El Forraje Verde Hidropónico (FVH): Una Alternativa de Producción de Alimento para el Ganado en Zonas Áridas. *Interciencia*. 34 (2): 121-126.
- Mapes, C. 2009. Origen y diversificación del maíz, una revisión analítica. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (en línea). Consultado 30 julio 2014. Disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/origen_div_maiz.pdf
- Marco, O. 2011. Estimación de la Calidad de los Forrajes. Facultad de Ciencias Agrarias. Unidad Integrada Balcarce INTA Balcarce. Argentina. 20(240): 24-30.
- Martínez, E. 2014. Evaluación de 3 variedades de maíz (*Zea maíz L.*) en las condiciones edafoclimáticas del Municipio de Amancio.
- Marín, F. y Torres, M. 2016. Validando la tecnología de producción de forraje verde hidropónico con maíz. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Convenio CNP-MAG). Boletín ProNAP 10(58), pág 9-11.
- Maynard, L., Loosli J, Hintz H. y Warner R. 1995. Nutrición animal, Traducido por Alfonso Ortega Said, 4ª. Ed., México D.F., McGraw-Hill, 641 p.
- Méndez, A. 2016. Percepción de los productores de maíz (*Zea mays, lin.*) sobre sus plagas claves: principales aspectos agroecológicos en área agrícolas de Venezuela (en línea).

- Consultado 5 diciembre del 2018. Disponible en: file:///C:/Users/isaac/Downloads/Percepcion%20de%20los%20productores%20d%200-%20Mendez%20Barcelo,%20Alberto.pdf
- Mendoza, A. 2013. Guía técnica el cultivo de maíz. Consultado 5 setiembre 2017. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>
- Meyer, J. 2012. Aflatoxinas en maíz (en línea). Consultado 5 enero del 2018. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/aflatoxinas-en-maiz>
- Meza, A. 2005. Efecto de la planta en el rendimiento de materia seca de Morus alba. Pastos y forrajes. 28 (2):141-147.
- Miss, D. 2014. “Documento técnico unificado para el aprovechamiento forestal maderable (en línea). Consultado 5 febrero del 2018. Disponible en: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/CUSF/04L700180414.pdf>
- Mora, E. 2009. Trabajo Final de graduación presentado a la Escuela de Agronomía para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía. Instituto tecnológico de costa rica sede regional San Carlos. 95 p.
- Morales, H. 2012. Forraje verde hidropónico de maíz amarillo (zea maíz l.) con diferente concentración de solución nutritiva (en línea). Consultado 9 diciembre del 2017. Disponible en: http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/forraje_hidroponico/28-hidroponico_de_maiz_20.pdf
- Muñoz, G. 2008. Evaluación Biológica y Económica del Uso de Forraje Verde Hidropónico (FVH) en la Producción de Leche 5402-2151-7501. Proyecto de Investigación. Informe Final. Vicerrectoría de Investigación y Extensión. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica
- Navarro, V. 2016. Calidad forrajera en híbridos élites de maíz. Terrón, Coahuila, México (en línea). Consultado 5 octubre. 2015. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8280/VICTOR%20HUGO%20NAVARRO%20ARRIAGA.pdf?sequence=1>
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7 ed. Washington D.C. National Academy of Science -National Research Council. 381 p.

- Núñez, JM. 2009. Evaluación productiva de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) y sorgo forrajero (*Sorghum bicolor*). Tesis Lic. Heredia, CR. Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 35 p.
- Ñíguez, ME. 2009. Producción de forrajes en condiciones de hidroponía II. Selección de especies y evaluación de la cebada y trigo. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán, Chile.
- Ochoa, 2011. Implementación de un banco mixto de forraje proteico en un sistema de producción de ganadería brahman puro. Corporación universitaria lasallista ciencias administrativas y agropecuarias industrias pecuarias caldas – antioquia. 34 p.
- Oliveira, M. 2008. Produção de canteiroshidropônicos de suporte forrageiro para alimentação de pequenosruminantesna agricultura familiar (en línea). Consultado 5 octubre. 2015. Disponible en www.eventosufrpe.com.br/.../cd/.../R1196-1.pdf.
- Ortiz, S. 2017. Observación de la producción de maíz bajo el sistema de alta densidad y tradicional en San Juan lagunas, Putla Villa de Guerrero, Oaxaca (en línea). Consultado 22 octubre. 2015. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42223/SAMUEL%20ORT%C3%8DZ%20APARICIO.pdf?sequence=1>
- Osorno, R. 2012. Producción y calidad de la biomasa de *Zea mays*, *Sorghum bicolor*, *Oriza sativa* en alfombra forrajera hidropónica. Trabajo de Graduación. Departamento de Sistemas Integrales de Producción Animal. Universidad Nacional Agraria. Managua. Nicaragua.
- Ospina, J. 2012. Evaluación de la producción de biomasa de maíz en condiciones del trópico colombiano (en línea). Consultado 30 julio 2014. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-agricultura/maiz/articulos/evaluacion-produccion-biomasa-maiz-t4029/417-p0.htm>.
- Pineda, M. 2004. Resúmenes de fisiología vegetal. Servicios de publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba, España. p. 204.
- Piqueras, M. 2007. Sector agrario y cambio climático (en línea). Consultado 22 octubre. 2015. Disponible en: <http://www.ecologistasenaccion.org/article17906.html>
- Poveda, R. 2005. Industrializar El Maíz. El colombiano (en línea). Consultado 7 junio 2017. Disponible en:

- <http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20%20MAIZ.pdf>
- Ramírez, C. 2016. Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz (en línea). Consultado 14 octubre 2017. Disponible en: [file:///C:/Users/isaac/Downloads/31301-91250-1-SM%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/isaac/Downloads/31301-91250-1-SM%20(3).pdf)
- Ramírez, C. 2016. Efecto de la nutrición sobre la calidad del Forraje Verde Hidropónico en la zona de Alajuela, Costa Rica. Consultado 14 octubre 2017. Disponible en: <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3894/1/40160.pdf>
- Ramírez, E. 2011. “Producción de forraje hidropónico de cebada (*hordeumvulgare* L.), maíz (*Zeamays* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.), utilizando microorganismos eficaces en el agua de riego”. Lambayeque, Perú. 13 p.
- Ramírez, H. 2011. De qué hablan cuando dicen materia seca. (en línea). México. Consultado 14 octubre 2017. Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/materia-seca-t28991.htm>
- Ramírez, P. 2009. Elaboración y utilización de un alimento concentrado a partir de residuos orgánicos en ganado de ceba línea de investigación. Tesis Mag. Bogotá, Colombia. Universidad la Salle. 78p.
- Reinoso, V. 2009. Importancia de la vitamina E y el selenio en vacas lecheras (en línea). Artigas, Uruguay. Consultado 26 julio 2015. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/104-Vit_E_y_Se.pdf
- Ríos, R. 2015. Efecto de la amonificación de la paja de maíz, sobre su valor nutricional. Torreón (en línea). Cahuila, México. Consultado 29 julio. 2015. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6925/RAFAEL%20ALEXIS%20CORONEL%20RIOS.pdf?sequence=1>
- Rivera, A. 2010. Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente (en línea). Trujillo, Venezuela. Consultado 29 julio. 2015. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/ZootecniaTropical/zt2801/pdf/rivera_a.pdf
- Rodríguez, L. 2002. Hidroponía agricultura y bienestar, Doble Hélice Universidad Autónoma de Chihuahua - México. 96: 23 - 60.

- Rodríguez, M. 2007. Análisis comparativo de la rentabilidad del forraje verde hidropónico y el cultivo en terreno firme en el distrito de sama Inclán (en línea). Consultado 14 de diciembre 2017. Disponible en: <http://tesishidroponica.blogspot.com/2007/06/blog-post.html>
- Rodríguez, S. 2003. Cómo producir con facilidad, rapidez y óptimos resultados forraje verde hidropónico. Ed. DIANA México. ISBN: 968-13-3613-5. 113 p
- Rojas, J. 2013. Alimentación de bovinos. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UNAM. 9p
- Rojas, M. 2009. Evaluación de los parámetros de producción y calidad nutricional de forraje verde hidropónico de avena y trigo producidos de manera artesanal en el Zoológico de Buin, Chile. Trabajo de Grado para optar por el Título de Zootecnista. Universidad de la Salle. Bogotá. Colombia
- Roncallo, A, 2013. Árboles y arbustos forrajeros alimento para bovinos en regiones tropicales secas (en línea). CorpoicaC.I.Motilonia. Consultado 22 octubre. 2015. Disponible en: <http://ecologiasocebu.blogspot.com/2013/12/arboles-y-arbustos-forrajeros-alimento.html>.
- Ruano, R. 2014. Comparación del rendimiento y valor nutricional de maíz (*Zea mays l.*), avena (avena sativa l.) y sorgo (*Sorghum vulgare l.*) cultivados por hidroponía en San Martín Jilotepeque, Chimaltenango. Consultado 1 octubre. 2017. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/10/10_1470.pdf
- Salas, L. 2010. Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. Terra Latinoamericana. 28(4): 355-360. 80.
- Salas, L. 2010. Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. Terra Latinoamericana 28(4):355-360
- Salas, L. 2012. Rendimiento, Calidad Nutricional, Contenido Fenólico y Capacidad Antioxidante de Forraje Verde Hidropónico de Maíz (*Zea mays*) Producido en Invernadero Bajo Fertilización Orgánica. Interciencia 37(3): 215-220.
- Salazar, E. 2014. Forraje verde hidropónico: Una alternativa para la alimentación animal (en línea). Consultado 14 de diciembre 2017. Disponible en: http://eeavm.ucr.ac.cr/Documentos/ARTICULOS_PUBLICADOS/2005/72.pdf

- Salazar, S. 2007. Disponibilidad de biomasa y valor nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en el distrito de Quesada, Cantón de San Carlos. Tesis presentada para optar por el título de Ingeniero Agrónomo con el grado académico de Licenciado en Zootecnia. Escuela de Zootecnia. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- Sánchez, A. 2002. Una experiencia de forraje verde hidropónico en el Uruguay. Boletín informativo de la Red de Hidroponía No. 7. Lima. Perú
- Sánchez, A. 2009. Leguminosas como potencial forrajero en la alimentación bovina. (en línea). Trujillo, Venezuela. Consultado 29 julio. 2015. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd50/legumin. 15 p.
- Sánchez, J. 2000. Hipomagnesemia. Un Desbalance Metabólico Subestimado en La Producción de Ganado Lechero En Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*. 6 (1): 75-95.
- Sánchez, J. 2003. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. II. Componentes de la pared celular. Serie Técnica *Nutrición Animal Tropical*. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 4: 3-23.
- Sánchez, J. 2007. Análisis comparativo de la rentabilidad del forraje verde hidropónico y el cultivo en terreno firme en el distrito de Sama Inclan (en línea). Consultado 20 abril .2015. Disponible en: <http://tesishidroponica.blogspot.com/2007/06/blog-post.html>
- Serratos, J. 2009. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano_(en línea). Consultado 20 noviembre .2017. Disponible en: <http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2009/3/el-origen-y-la-diversidad-del.pdf>
- Shimada, A., 2003. *Nutrición Animal*, México, D.F., Trillas, S.A. de C.V, 388 p.
- Soria, S. 2015. Unidades térmicas para el desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays, l.*) en la localidad de cañete_(en línea). Consultado 20 abril .2015. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2111/H50-S6-T.pdf?sequence=1>
- Soto, F. 2013. Evaluación de la productividad y dinámica del agua y el nitrógeno en cultivos hortícolas bajo invernadero. Departamento de Agronomía. Universidad de Almería España.

- Suárez, H. 2015. Análisis económico de la producción de uva de mesa en dos variedades de *Vitis vinifera l.* (cv. *red globe* y cv. *crimson seedless*) en la parroquia Manglar alto, cantón santa Elena (en línea). Consultado 20 noviembre .2017. Disponible en: <http://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/2747/1/UPSE-TAA-2015-020.pdf>
- Suárez, J. 2012. Comportamiento agronómico de cinco especies forrajeras bajo el sistema de corte y acarreo en suelos de terraza y mesón en el piedemonte amazónico colombiano. *Zootecnia Trop.* v.26 n.3 Maracay sep 2012. 34 p.
- Tobia, C *et al.* 2004. Sustitución parcial de alimento balanceado para ensilaje de soya y su efecto en la producción y calidad de la leche de vaca, en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*.
- Torres, D. 2013. Establecimiento de un invernadero para forraje verde hidropónico y siembra de dos gramíneas, maíz y avena, en la quinta experimental punzara. Universidad nacional de Loja. Área agropecuaria y de recursos naturales renovables. 13 p.
- Torres, M. 2013. Nutrición mineral de forraje verde hidropónico revista Chapingo serie horticultura. Chapingo, México. pp. 211-223
- Trujillo, G. 2010. Valor Nutritivo de las Pasturas. Departamento de Producción Animal y Pasturas. Facultad de Agronomía. Universidad de la República de Uruguay. Uruguay.
- Ureña, U. 2010. Forraje hidropónico una alternativa para la alimentación animal (en línea). San José, Costa Rica. INA. Consultado 2 ene. 2016. Disponible en http://www.ina.ac.cr/agropecuario/Forrajes_encuentro_%20hidroponia.pdf
- Van Soest *et al.* 1991. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, USA. 476 pp.
- Van Soest. 1970. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, USA. 476 pp.
- Vargas, C. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*. 19(2): 233- 240.
- Vargas, M. 2008. Evaluación productivo-ambiental de dos genotipos de maíz (*Zea mays L.*) en forraje verde hidropónico bajo invernadero. Tesis de Maestría. Victoria de Durango, Durango.
- Vázquez, J. 2014. Semana internacional de Agronomía (en línea). Consultado 22 julio 2017. Extraído de: http://faz.ujed.mx/files/sia_2014.pdf
- Villalobos, L. 2006. Disponibilidad

y valor nutricional del pasto Ryegrass Perenne Tetraploide (*Lolium perenne*) en las zonas altas de Costa Rica. Tesis presentada para optar por el título de Ingeniero Agrónomo con el grado académico de Licenciado en Zootecnia. Escuela de Zootecnia. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Vergara, J. 2016. “Evaluación agronómica de cuatro híbridos de maíz duro seco (*Zea mays* l.) En la zona el triunfo de la provincia guayas” en línea). Consultado 22 julio 2017.

Extraído de:

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11554/1/Vergara%20Garcia%20Jimmi%20Jacinto.pdf>

Villarroel, O. 2010. Antecedentes generales sobre las aflatoxinas y otras micotoxinas y elementos a tener en cuenta para el diseño de prácticas correctas de cultivo y elaboración de nueces. División de Políticas Públicas Saludables y Promoción Departamento de Alimentos y Nutrición. Chile (en línea). Consultado 22 julio 2017.

Extraído de:

<http://web.minsal.cl/portal/url/item/72fd6274dad8792ee04001011f0109e4.pdf>

Zambrano, G. 2015. Comportamiento agronómico y calidad nutricional de dos especies de leguminosas con el método de cultivo forraje verde hidropónico. GUAYAQUIL – ECUADOR. (en línea). Consultado 16 julio 2017. Extraído de:

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8635/1/Zambrano%20G.%20Robinson%20Arturo.pdf>.

9. ANEXOS

Anexo 1. Instrumento para la recolección de información sobre la semilla comercial.

• Recolector:		• Productor:	
• Variedad:		• Teléfono:	
• Provincia:		• Fecha de recolección:	
•		• Cantón:	
• Nombre de la localidad		•	
• Dirección exacta:			
Latitud: N	Longitud: O	Altitud: m.s.n.m	
• Fuente de la muestra: 1. Silvestre 2. Cultivar tradicional			
• Percepción del agricultor sobre la pureza varietal: 1. Pureza Alta 2. Pureza media 3. Pureza baja			
• Cantidad de semilla recolectada:			
• Época de siembra:			
• Topografía: 1. Plano 2. Ladera 3. terraza 4. Cumbre			
• Textura del suelo: 1. Arcilla 2. Franco 3. Arena gruesa 4. Arena fina 5. Orgánica			
• Preparación del terreno:			
• Fertilización (si aplica algún producto):			
• Control de enfermedades y plagas:			
Manejo poscosecha:			

Anexo 2. Costo por Kg de materia seca del FVH

Kg MS /tratamiento	insumos x Kg MS	semilla x Kg MS	depreciación instalaciones y equipo x Kg MS	Mano de obra x Kg MS	costo x Kg MS x Tto
3,53	¢376,70	¢5.607,48	¢114,69	¢371,23	¢6.470,10
4,36	¢305,36	¢740,91	¢92,97	¢300,92	¢1.440,15
5,08	¢261,74	¢635,06	¢79,69	¢257,93	¢1.234,42
4,13	¢322,46	¢782,40	¢98,18	¢317,77	¢1.520,80

Anexo 3. Costo por Kg del FVH fresco.

Kg M verde /tratamiento	insumos x Kg Mv	semilla x Kg Mv	depreciación instalaciones y equipo x Kg Mv	Mano de obra x Kg Mv	costo x Kg verde x Tto
13,46	¢98,82	¢1.471,03	¢30,09	¢97,38	¢1.697,32
16,60	¢80,13	¢194,42	¢24,40	¢78,96	¢377,91
19,41	¢68,53	¢166,28	¢20,86	¢67,53	¢323,20
15,70	¢84,72	¢205,57	¢25,79	¢83,49	¢399,57

Anexo 41. Costo por m²del FVH fresco.

Kg M verde /tratamiento	insumos x Kg Mv	semilla x Kg Mv	depreciación instalaciones y equipo x Kg Mv	Mano de obra x Kg Mv	costo x m2 según Tto
3,30	¢403,07	¢6.000,00	¢122,72	¢397,21	¢6.923,00
3,30	¢403,07	¢978,00	¢122,72	¢397,21	¢1.901,00
3,30	¢403,07	¢978,00	¢122,72	¢397,21	¢1.901,00
3,30	¢403,07	¢978,00	¢122,72	¢397,21	¢1.901,00

Anexo 5. Forma de cálculo del Rendimiento en toneladas de Materia seca (MS).

Para obtener el rendimiento de FVH se realizó de la siguiente forma.

- Rendimiento: 1, 27 Kg/m² 1 solo piso
- Rendimiento por hectárea (restándole 30% de áreas de pasillo en un sistema invernadero)
= 7000m² x 1,27 Kg) ÷1000= 8,89 toneladas MS/ha
- Rendimiento por número de ciclos (de 20 días) en 1 año: 18 ciclos * 8,89 toneladas MS/ha= 163 ton MS/ha/año en 1 piso.

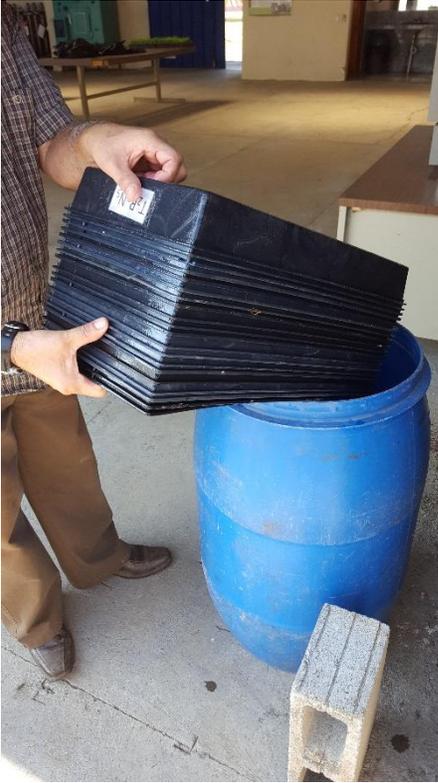
Anexo 6. Prueba de Aflatoxinas



Anexo 7. Prelavado de los materiales



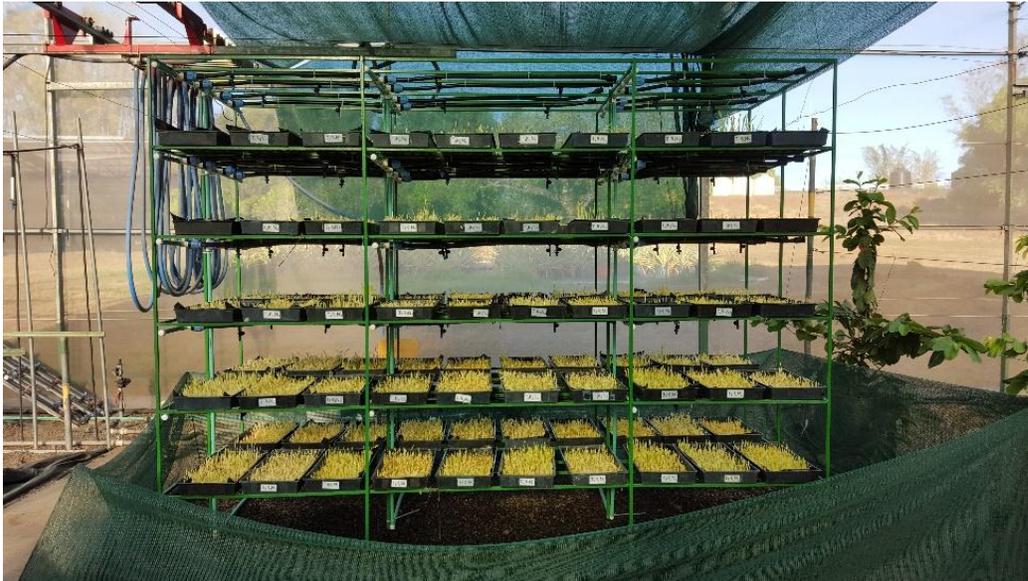
Anexo 8. Fotografía de las bandejas plásticas para la producción de FVH



Anexo 9. Germinación maíz Pico de Gallo



Anexo 10. Primer Día del FVH en el Modulo



Anexo 11. Forraje Verde hidropónico a los 4 días de germinación.

