

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS

**Potencial forrajero de cuatro variedades costarricenses de maíz
(*Zea mays*) evaluadas a diferentes densidades de siembra en Santa
Lucía, Barva de Heredia**

Tesis de grado para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía con énfasis en Agricultura
Alternativa.

Estudiante: Manuel Ignacio Méndez Soto

Tutor: Lic. José Pablo Jiménez Castro

Asesor 1: Ph.D. William Sánchez Ledezma

Asesor 2: Lic. Esteban Jiménez Alfaro

Campus Omar Dengo
Heredia, Costa Rica, 2017

**Potencial forrajero de cuatro variedades costarricenses de maíz
(*Zea mays*) evaluadas a diferentes densidades de siembra en Santa
Lucía, Barva de Heredia**

Manuel Ignacio Méndez Soto

**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. Andrés Alpízar Naranjo
Representante Decano, FCTM

Dr. Rafael Evelio Granados Carvajal
Director Escuela de Ciencias Agrarias

Lic. José Pablo Jiménez Castro
Director de Tesis

Dr. William Sánchez Ledezma
Asesor

Lic. Esteban Jiménez Alfaro
Asesor

Manuel Ignacio Méndez Soto
Estudiante

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente con todo mi amor y cariño a mis padres, por ser el pilar fundamental de mi vida, de todo lo que soy; por siempre creer en mí y en mis capacidades, por sus consejos y palabras de apoyo, por darme todo lo que he necesitado y más. Dedicada porque gracias a su ejemplo de constancia y sacrificio he logrado alcanzar distintas metas.

A mis hermanas, a Vane por su guía y motivación en muchos momentos, a Fabi por darme cada día el deseo de ser un mejor ejemplo para su vida.

A Mau por enseñarme el verdadero significado de amistad y trabajo en equipo.

“El lugar donde nacen los niños y mueren los hombres,

donde la libertad y el amor florecen,

no es una oficina ni un comercio ni una fábrica.

Ahí veo yo la importancia de la familia”

Gilbert Keith Chesterton

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a cada uno de los académicos de la Universidad Nacional, que de una u otra forma me han apoyado a lo largo de la carrera, transfiriéndome sus conocimientos y experiencias.

Agradezco muy especialmente al Ing. José Pablo Jiménez e Ing. William Sánchez, por su guía y liderazgo a lo largo de todo el trabajo, también por brindarme la oportunidad de recurrir a sus capacidades y conocimientos científicos, y por la paciencia que tuvieron para guiarme en todo el desarrollo de la tesis.

Al Ing. Esteban Jiménez por su tiempo invertido en las revisiones, y todos sus aportes a pesar de encontrarse en la Patagonia Argentina realizando su posgrado.

También a todos los Docentes y Laboratoristas del Departamento de Nutrición Animal de la Universidad Nacional por sus múltiples ayudas y apoyos en los diferentes análisis o consultas.

Para finalizar agradezco a mi novia por apoyarme y darme un empuje en la fase final del documento.

RESUMEN

El estudio se realizó de agosto a diciembre del 2015, en la Finca Experimental Santa Lucía, Barva de Heredia. El objetivo fue evaluar el rendimiento productivo, la calidad nutricional y los costos de producción de cuatro variedades costarricenses de maíz (EJN2, Los Diamantes 8843, Proteinta y Nutrigrano) manejadas a cuatro densidades de siembra (53 333, 66 666, 88 888 y 133 333) y cosechados a los 105 días de edad. Se utilizó un diseño experimental factorial 4x4, donde el factor A corresponde a la densidad de siembra y el factor B a las cuatro variedades. En total se evaluaron dieciséis tratamientos, mediante un arreglo de parcelas divididas, donde la parcela grande (75 m²) correspondieron a las densidades de siembra y la parcela pequeña (18.75 m²), utilizando los tres metros lineales de cada parcela como unidad experimental. Se evaluó el rendimiento de materia verde, materia seca y altura, así como la calidad nutritiva de los forrajes, analizando los datos mediante el Análisis Multivariate MLG de SPSS v22, el cual proporciona un análisis de regresión y un análisis de varianza para una variable dependiente mediante uno o más factores o variables. En cuanto al rendimiento de MV, las cuatro variedades superaron las 34 t/ha. No se encontraron diferencias significativas en la producción de MS; estos rendimientos van de 7.4 t/ha a 9.6 t/ha. Las variedades Diamantes y EJN2 tuvieron los mayores promedios de altura, presentando diferencias estadísticas sobre las otras variedades. La densidad de plantas/ha no influyó sobre los rendimientos de MV de EJN2, Diamantes ni Nutrigrano, tampoco influyó sobre la MS ni sobre la altura. La variedad Proteinta presentó diferencias significativas en MV, pero no responden a la densidad de plantas/ha. No se presentaron diferencias estadísticas significativas en los porcentajes de MS y PC entre las cuatro variedades. Se obtuvieron bajos porcentajes de MS pero altos porcentajes de PC en las cuatro variedades. Los porcentajes de DIVMS de las cuatro variedades fueron superiores a 60%; la variedad Proteinta presentó el porcentaje más alto (64.40%); mientras que Diamantes tuvo el porcentaje de DIVMS más bajo de todas las variedades, y el contenido más alto de FDA, FDN y lignina. La variedad Diamantes presentó el kg de MV de menor costo entre las cuatro variedades; pero la variedad EJN2 presentó los kg de MS, PC y MSD de menor costo. El kg de PC de cualquiera de las cuatro variedades tiene menor costo que un kg de PC de un concentrado.

ABSTRACT

This trial was completed between the months of August and December of 2015 on the Santa Lucia Experimental Farm in Barva, Heredia. The objective was to evaluate the productive yield, nutritional quality, and production costs of four varieties of Costa Rican corn (EJN2, Los Diamantes 8843, Proteinta, and Nutrigrano) cultivated in four sowing densities (53 333, 66 666, 88 888 and 133 333 plants/ha) and harvested on the 105th day. The trial used a 4x4 factorial experimental design. Factor A consisted of the sowing densities and factor B corresponded with the 4 different varieties of corn. In total, 16 treatments were evaluated, due to the 4x4 combination, using a divided plot design in random blocks with three repetitions. The big plots (75 m²) corresponded to the sowing densities. The small plots (18.75 m²) were 5 m long and 3.75 m wide with 5 sowing furrows; these corresponded to the corn varieties. The useable plot was defined by three lineal meters inside of the three central furrows. The green matter yield, dry matter yield, and height samples were taken from this useable plot, as well as the samples analyzed to obtain the bromatological quality. The varieties Diamantes and EJN2 were statistically differentiated to yield the most green matter. The four varieties showed yields of green matter higher than 34 t/ha. In the case of dry matter, there were no significant differences; these yields go from 7.4 t/ha to 9.6 t/ha. The varieties Diamantes and EJN2 had the highest average height, presenting statistic differences over the other varieties. The density of plants/ha didn't influence the green matter yield within EJN2, Diamantes, or Nutrigrano, nor did it influence dry matter yield, or height in any of the varieties. The Proteinta variety presented significant differences in green matter yield, but not due to the density of plants/ha. There were no significant statistical differences in the percentages of dry matter and crude protein in the four varieties. The percentages of IVDMD of the four varieties were higher than 60%; the variety Proteinta presented the highest percentage (64.40%), while Diamantes had the lowest percentage of IVDMD of all the varieties, and the highest content of NDF, ADF, and lignin. Diamantes presented the lowest cost of green matter per kg out of the four varieties, but the variety EJN2 presented the lowest cost of dry matter, crude protein, and dry matter intake per kg. The crude protein per kg of any of the four varieties has a lower cost than one kg of concentrated crude protein.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. El Cultivo de maíz.....	4
3.1.1. Taxonomía.....	4
3.1.2. Origen.....	4
3.1.3. Adaptación	5
3.1.4. Generalidades	5
3.1.5. Clima	5
3.1.6. Densidad de siembra	6
3.2. Maíz como fuente forrajera	7
3.2.1. Características del forraje.....	7
3.2.2. Densidad de siembra del maíz forrajero.....	8
3.2.3. Fertilización para maíz forrajero	8
3.2.4. Cosecha del maíz para forraje	10
3.2.5. Rendimiento de maíz forrajero.....	10
3.2.6. Calidad nutritiva del forraje de maíz.....	10
3.2.7. Costos de producción de forraje.....	14
3.3 Variedades e híbridos forrajeros utilizados en Costa Rica.....	14
3.3.1. Híbrido HR-960.....	14
3.3.2. Maíz HR-245.....	14
3.3.3. Maíz HR-Oro.....	15
3.3.4. EJN2.....	15
3.3.5. Los Diamantes 8843.....	15
3.3.6. Proteinta	16
3.3.7. Nutri grano	16
4. MATERIALES Y MÉTODOS	17

4.1.	Ubicación	17
4.2.	Zona de vida.....	17
4.3.	Tipo de suelo	17
4.4.	Materiales evaluados	19
4.5.	Diseño y desarrollo experimental.....	19
4.6.	Establecimiento y manejo de los forrajes.....	20
4.8.	Costos de producción	24
4.9.	Análisis estadístico.....	24
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
5.1.	Producción de Biomasa.....	25
5.1.1.	Altura de las cuatro variedades de maíz en cuatro densidades de siembra.	25
5.1.2.	Producción de materia verde y materia seca de las cuatro variedades de maíz en cuatro densidades de siembra.....	30
5.2.	Calidad nutritiva de las cuatro variedades de maíz	34
5.2.1.	Materia seca.....	34
5.2.2.	Proteína Cruda.....	35
5.2.3.	Fibra ácido detergente	36
5.2.4.	Fibra neutro detergente.....	38
5.2.5.	Extracto Etéreo.....	39
5.2.6.	Cenizas	39
5.2.7.	Lignina	40
5.2.8.	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca	41
5.3.	Costo de producción por etapa y costos por kilogramo de materia verde, materia seca y proteína cruda de cada una de las 4 variedades de maíz.	42
5.	CONCLUSIONES	47
6.	RECOMENDACIONES	48
7.	LITERATURA CITADA.....	49

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Resultados de análisis del suelo donde se realizó el estudio en Finca Experimental Santa Lucía, Heredia.	18
TABLA 2. Altura de planta entre cuatro variedades de maíz a 4 densidades de siembra. Santa Lucía, Heredia.	26
TABLA 3. Altura de la planta en cuatro densidades de siembra en el cultivo de maíz. Santa Lucía, Heredia.	28
TABLA 4. Altura de la planta en cuatro variedades de maíz en Santa Lucía, Heredia.	29
TABLA 5. Rendimientos de materia verde y materia seca en cuatro densidades de siembra distintas en cultivo de maíz, Santa Lucía, Heredia.	30
TABLA 6. Rendimientos de materia verde y materia seca entre cuatro variedades de maíz, Santa Lucía, Heredia.	33
TABLA 7. Parámetros de calidad bromatológica en cuatro variedades de maíz. Santa Lucía, Heredia.	34
TABLA 8. Costos de establecimiento, manejo y cosecha de una hectárea del cultivo de maíz con fines forrajeros en Santa Lucía, Heredia (colones y dólares).	43
TABLA 9. Costos de producción por kg de materia verde, materia seca, proteína cruda y materia seca digestible para cada una de las cuatro variedades. Santa Lucía, Heredia.	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Composición de la célula vegetal de un forraje.....	11
FIGURA 2. Distribución de los forrajes en campo según parcelas (densidad de siembra) y subparcelas (variedades de maíz).	20

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Cálculos de fertilización, según dosis recomendada.....	62
---	----

ACRÓNIMOS

Abreviatura	Detalle	MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
AC	Antes de Cristo	Mg	Magnesio
°C	Grados Celsius	MJ/m²	Mega julios por metro cuadrado
Ca	Calcio	mm	Milímetros
Ce	Cenizas	mg	Miligramos
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	Mn	Manganeso
CINA	Centro de Investigaciones en Nutrición Animal	MS	Materia seca
cm	Centímetros	MSD	Materia seca digestible
cmol	Centimoles	msnm	Metros sobre el nivel del mar
Cu	Cobre	MV	Materia verde
D.E.	Desviación estándar	N	Nitrógeno
DIA	Dirección de Investigaciones Agrícolas	P	Significancia estadística
DIVMS	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca	P	Fosforo
EE	Extracto etéreo	PC	Proteína buta
FAD	Fibra ácido detergente	pH	Índice de acidez
FCTM	Facultad de las ciencias de la Tierra y el Mar	t	Toneladas
Fe	Hierro	UNA	Universidad Nacional
FND	Fibra neutro detergente	VPL	Variedad de polinización libre
g	Gramos	Zn	Zinc
Ha	Hectárea		
hh	Horas hombre		
hm	Horas maquina		
INTA	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia Tecnológica Agropecuaria		
K	Potasio		
Kg	Kilogramos		
Lig	Lignina		
m	Metros		

1. INTRODUCCIÓN

El sector ganadero en Costa Rica se encuentra conformado por una estructura de productores muy diversa, incluye una base de pequeños productores, muy grande en número y de importante peso económico y social, hasta una cúspide en la que se ubica un sector de productores grandes y las empresas procesadoras de los productos, tanto lácteos como carne (Fernández 2007). Según la presentación NAMA, Ganadería Costa Rica (MAG 2015), en el 2014 la leche y la carne representaron el 39% (\$145 millones) y 23% (\$85.8 millones) respectivamente de las exportaciones pecuarias y acuícolas del país.

De acuerdo al Censo Agropecuario 2014 del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC 2015), en Costa Rica existen 37 171 explotaciones con ganadería y un total 1 278 817 cabezas de ganado. La producción bovina en el trópico se basa en el pastoreo como principal recurso alimentario (Pérez 1999). En Costa Rica de los terrenos destinados al uso agropecuario, el 43% está sembrado con pasturas lo que representa 1 044 909.7 ha; de este total, un 53% corresponden a pastos naturales (555 655.3 ha), un 45% a pastos mejorados (465 990.9 ha), y un 2% a pastos de corta (22 263 ha) (INEC 2015).

En sistemas de producción con animales rumiantes, una forma de disminuir los costos de producción, es utilizar forrajes de corta para ser utilizado directamente en la alimentación como materia verde, o bien como ensilaje, que permiten en épocas de verano suplir la necesidad. Es importante obtener el máximo aprovechamiento de los cultivos que se utilizan como fuentes forrajeras.

En los sistemas de producción de rumiantes, generalmente el manejo de la alimentación se basa en pasturas naturales de baja calidad y poco rendimiento. Además, la producción

ganadera es limitada por la escasez de forraje en las épocas críticas o por un manejo inapropiado de la alimentación (Holguín *et al.* 2003). Las deficiencias nutricionales en la época seca causan pérdida de peso de los animales, disminución de la producción de leche, problemas reproductivos y, en muchas ocasiones, la muerte (Cerdas 1977).

Producir ensilado es una alternativa para aprovechar el excedente de forraje disponible en la época de abundancia y alimentar el ganado durante épocas críticas; bien sea por sequía o por el exceso de lluvia que afecta los pastos. La conservación de alimentos es una práctica que mejora la competitividad de la ganadería, al permitir niveles estables de producción y productividad de los animales durante todo el año (Quirós 2009).

El cultivo de maíz para la producción de grano se extiende a través de todo el mundo; se estima que está sembrado en una superficie mayor de 100 millones de hectáreas anualmente. Se desconoce el cálculo exacto sobre el área destinada a la producción de maíz forrajero, que es utilizado en la alimentación de bovinos y rumiantes menores. En el ganado vacuno, el maíz además de utilizarse en forma de granos, se utiliza como forraje verde o bien se realizan ensilados para su utilización en periodos secos (Piccioni 1970).

El maíz como fuente forrajera posee un buen rendimiento de biomasa por unidad de área, alcanzando volúmenes de 40 a 95 t/ha de material verde en corto tiempo, además de un valor nutritivo de bueno a excelente dependiendo de la etapa de crecimiento en que se encuentre el cultivo en el momento de la cosecha (Wang-Yeong *et al.* 1995). Además es apto para ensilar por su rendimiento óptimo de materia orgánica digestible, fácil cosecha y preservación, por permitir una elevada ingesta y ser eficientemente utilizado por los

rumiantes. El forraje de maíz es un alimento excelente para los rumiantes, debido al elevado contenido de energía que aporta el grano, a través del almidón (Bertoia 2004).

A nivel nacional se han producido variedades nacionales de maíz como lo son Diamantes 8843, JSaenz, Nutrigrano, Upiav-G6, EJN2, GPM, Proteinta entre muchos otros. Estas variedades se han estudiado para producción de grano, aunque no se ha estudiado su utilización como forraje verde (Sánchez 2014).

En este sentido, el objetivo de esta investigación fue determinar el potencial forrajero de cuatro variedades de maíz (*Zea Mays*) costarricenses evaluadas a diferentes densidades de siembra en la localidad de Santa Lucía de Barva de Heredia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el potencial forrajero, nutritivo y costos de producción de cuatro variedades de maíz costarricenses, manejadas a cuatro densidades de siembra en la Finca Experimental Santa Lucía en Barva de Heredia.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la densidad de siembra sobre la producción de materia verde y materia seca de 4 variedades de maíz costarricenses.
- Determinar el valor nutritivo de cuatro variedades de maíz: Proteinta, EJN2, Nutrigrano y Diamantes 8843.
- Estimar el costo de producción por kilogramo de materia verde, materia seca y proteína cruda de cada variedad de maíz.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1.El Cultivo de maíz

3.1.1. Taxonomía

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Cyperales

Familia: Poaceae

Género: Zea L., 1753

Especie: mays L., 1753

Subespecie: mays NA

(Doebley & Stec 1993).

3.1.2. Origen

Aproximadamente entre los años 8 000 y 600 AC surgió el maíz en Mesoamérica (México y Guatemala), probablemente a lo largo del acantilado occidental de México Central o del Sur, a 500 km de la Ciudad de México. El ecosistema en el que nace el maíz era de invierno, seco estacional en alternancia con las lluvias de verano, en una región montañosa, de cuevas empinadas y sobre roca caliza. Las tres vistas ampliamente sostenidas acerca del origen de maíz explican que provenía de: una forma de maíz silvestre, un teocintle silvestre o de un antepasado desconocido (ni maíz silvestre ni teocintle) (Acosta 2009).

No hay dudas del origen americano del maíz, pero nunca fue mencionado en ningún tratado antiguo, ni en la Biblia, hasta el descubrimiento de América por Cristóbal Colón, quien lo vio por primera vez en la isla de Cuba en octubre de 1492 (Acosta 2009).

3.1.3. Adaptación

El cultivo de maíz (*Zea mays*) produce uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas) y se adapta a todo tipo de suelo, pero prefiere aquellos con pH entre 5.5 y 7.8, profundos, ricos en materia orgánica y con buen drenaje, sin encharcamiento para evitar asfixia radicular (Acosta 2009).

La adaptación del cultivo de maíz es muy amplia, ya que se cultiva desde los 40° de latitud Sur hasta los 50° de latitud Norte, abarcando regiones tropicales, subtropicales y templadas, lo que repercute en una extensa adaptabilidad ambiental (Monterroso & De León 2008).

3.1.4. Generalidades

La planta de maíz tiene buen desarrollo vegetativo. Según la variedad puede alcanzar hasta 5 metros de altura, principalmente en zonas con altitudes superiores a los 1 000 msnm. En suelos con $\text{pH} < 5.5$ se pueden presentar problemas de toxicidad por aluminio y manganeso, o bien carencia de fósforo y magnesio; mientras que en caso contrario con $\text{pH} > 8$ se presentan carencias de hierro, manganeso y zinc. La falta de agua es el factor limitante en la producción de maíz en zonas tropicales. El estrés hídrico o sequía durante sus primeras etapas de crecimiento (15 a 30 días) puede ocasionar pérdidas de plantas jóvenes, reduciendo la densidad poblacional o estancar su crecimiento (Deras 1999).

3.1.5. Clima

El cultivo de maíz requiere un clima relativamente cálido. Para una buena germinación, la temperatura media diurna debe oscilar entre 18 y 20°C, para el crecimiento lo óptimo sería entre 20 y 30°C, mientras que para la floración lo recomendable es entre 21 y 30°C. Además, se sabe que los mayores rendimientos de floración se obtienen cuando existen entre 11 y 14

horas de luz por día, y que el rendimiento se reduce cuando la temperatura supera los 35°C (Bonilla 2009a).

Según (INFOAGRO 2010) para la siembra del maíz es necesaria una temperatura media del suelo de 10 °C, y que ella vaya en aumento; y para que la floración se desarrolle normalmente conviene que la temperatura sea de 18 °C como mínimo.

La temperatura más favorable para la nascencia se encuentra próxima a los 15 °C. En la fase de crecimiento, la temperatura ideal se encuentra comprendida entre 24 y 30 °C. Por encima de los 30 °C se encuentran problemas en la actividad celular, disminuyendo la capacidad de absorción de agua por las raíces. Las noches cálidas no son beneficiosas para el maíz, pues es la respiración muy activa y la planta utiliza importantes reservas de energía a costa de la fotosíntesis realizada durante el día (INFOAGRO 2010).

Si sobrevienen heladas antes de la maduración sin que haya producido todavía la total transformación de los azúcares del grano en almidón, se interrumpe el proceso de forma irreversible, quedando el grano blando y con un secado mucho más difícil, ya que, cuando cesa la helada, los últimos procesos vitales de la planta se centran en un transporte de humedad al grano (INFOAGRO 2010).

3.1.6. Densidad de siembra

Para la producción de grano, en siembra comercial se utiliza entre 50 000 y 55 000 plantas/ha, mientras que para producción de semilla registrada y certificada se recomiendan densidades entre 40 000 y 45 000 plantas/ha. En cultivares de porte bajo se recomienda sembrar a 75 cm entre surcos; mientras que las de porte alto se deben cultivar a 90 cm entre surcos, utilizando en ambos casos entre 20 y 25 cm entre plantas (Bonilla 2009a).

3.2. Maíz como fuente forrajera

3.2.1. Características del forraje

El uso de maíz como fuente forrajera, ya sea como planta verde o ensilada, es una práctica común en todos los países de agricultura avanzada, ya que contribuye a resolver el problema de la estacionalidad de la producción de biomasa de las pasturas, ante un requerimiento nutricional constante por parte de los animales. Su utilidad como fuente forrajera se debe principalmente a tres razones: buena producción por corte, excelente contenido de carbohidratos de carbono fácilmente aprovechables y buenas características para ensilar (Bertoia 2004).

Otras virtudes del cultivo de maíz como fuente forrajera, es que no requiere ningún tratamiento al momento de ensilar, debido a su excelente contenido de MS, carbohidratos solubles, capacidad buffer y nitratos al momento de la cosecha. Además, la cosecha es rápida. Sin embargo, cuando se quiere suministrar como único alimento tiene algunas limitantes, ya que los contenidos de proteína cruda (PC) y minerales son bajos (especialmente calcio), por lo que se debe utilizar como parte de una suplementación estratégica (Romero y Aronna 2004).

Según Núñez *et al.* (1994) en el cultivo de maíz, la densidad de plantas y la fertilización, son las prácticas agronómicas que más impactan en la producción de grano o de forraje. En la producción de forraje, existen evidencias de maíces de ciclo tardío, con porte alto y de hojas laxas, que incrementan la producción de MS al elevar la densidad de siembra hasta 80 mil plantas/ha; mientras que los intermedios de hojas erectas responden positivamente hasta 120 mil plantas/ha.

Además, el maíz presenta alta palatabilidad, calidad constante y excelente energía. El proceso de ensilar maíz requiere menos trabajo y maquinaria en comparación a otras especies forrajeras, lo que repercute en un menor costo por kilogramo de forraje producido (Núñez *et al.* 2003).

3.2.2. Densidad de siembra del maíz forrajero

Con el fin de incrementar el rendimiento por hectárea de forraje de maíz, en algunos países como los Estados Unidos y Canadá, se ha evaluado el uso de altas densidades de siembra y adecuada distribución entre plantas, obteniendo excelente resultados. En las últimas décadas, el incremento en las densidades de siembra ha sido muy útil para incrementar los rendimientos productivos de maíz forrajero, situación que ha sido favorecida por la generación de genotipos de maíz que por su altura de planta intermedia, hojas erectas o semi-erectas, profundidad del sistema radical y fortaleza de los tallos, resisten el acame (Reta *et al.* 2002).

La densidad óptima depende del genotipo, fertilidad y manejo agronómico del cultivo. Se han evaluado materiales forrajeros utilizando densidades de 104 000 plantas/ha, obteniendo rendimientos entre 27.8 y 70.2 t/ha de forraje verde (Montemayor & De León 2008). Otros investigadores (Antolín *et al.* 2009) han evaluado densidades de 80 000 plantas/ha, logrando rendimientos entre 78.1 y 90.8 t/ha forraje verde. Sin embargo, la producción se redujo entre 52.5 y 85.6 t/ha de forraje verde cuando la densidad se incrementó a 85 000 plantas/ha.

3.2.3. Fertilización para maíz forrajero

El plan de fertilización ideal debe ser acorde a las características químicas del suelo. Bonilla (2009a) recomienda aplicar 100, 60 y 40 kg/ha de nitrógeno, fósforo y potasio,

respectivamente, en suelos de fertilidad media- alta. Es recomendable aplicar la dosis de fósforo y potasio, y una parte del nitrógeno (25 a 50%) al momento de la siembra, el resto del nitrógeno se debe fraccionar en 2 o 3 aplicaciones (Bonilla 2009a).

Según Melgar (2009), el maíz para forraje tiene las mayores necesidades de fertilización que el maíz para grano. Cuando se cultiva maíz forrajero constantemente sobre un mismo terreno, los ciclos posteriores al primero presentan mayores necesidades, debido a que la extracción de biomasa implica la no reposición de los nutrientes almacenados en los tallos, hojas, mazorca y raíces de la planta, ya que por la naturaleza del uso todo el forraje es retirado del campo.

Importante fraccionar la fertilización nitrogenada ya que la planta de maíz utiliza mucho nutriente durante todo su ciclo. En los requerimientos de este nutriente se identifican tres fases del cultivo muy marcadas: la primera a partir del nacimiento de la planta, la segunda desde un mes antes de la aparición de los “pelos” de la mazorca, y la última pero no menos importante, en la fase posterior a la aparición de los “pelos” de la mazorca (Beg 2000).

También con el fraccionando de la aplicación del nitrógeno se pretendió aportarle al suelo este nutriente tanto al momento de la siembra, junto con la fertilización de fósforo y potasio; como posterior a la siembra en tres aplicaciones más en base a las tres fases del cultivo demandantes de nitrógeno citadas anteriormente.

De acuerdo con Beg (2000), “la aplicación de fertilizantes nitrogenados en forma fraccionada permite una mejor utilización del nitrógeno, particularmente en suelos con texturas gruesas, sujetos a pérdidas del elemento por lavado”.

Que la fertilización fosfatada y potásica se aplicara al momento de la siembra se debe a que el fósforo es absorbido mayormente, en las primeras etapas del ciclo del maíz; mientras que el potasio es absorbido intensamente durante la etapa juvenil de la planta de maíz. Es por ello que se recomienda su aplicación total al momento de la siembra (Beg 2000).

3.2.4. Cosecha del maíz para forraje

Según Romero en el 2005, adelantar demasiado el corte, cuando la humedad de la planta está alrededor del 75 % (grano lechoso) afecta el volumen cosechado. Si se lo compara con un corte al estado óptimo (65% de humedad) la pérdida de producción ronda entre los 4 000 y 5 000 kgs de MS por ha. Cuando se corta al estado óptimo (30 - 35 % de materia seca o 70 - 65 % de humedad) se logra cosechar el mayor volumen de forraje con la mejor calidad. Cortes más tardíos, por debajo del 60 % de materia seca, no producen más volumen y afectan la calidad por el excesivo deterioro de los tallos y las hojas.

3.2.5. Rendimiento de maíz forrajero

El rendimiento forrajero del cultivo de maíz oscila entre 40 y 95 t/ha materia verde (MV) (Reta *et al.* 2002). Según Vergara *et al.* (2002) para que un maíz forrajero sea considerado como bueno, debe producir al menor 50 t/ha de materia verde (MV).

3.2.6. Calidad nutritiva del forraje de maíz

Vergara *et al.* (2002) mencionan que un maíz forrajero debe disponer más de un 25 y 65% de materia seca (MS) y digestibilidad *in vitro* de la MS, respectivamente, y contener menos 30 y 60% de fibra ácido detergente (FDA) y fibra neutro detergente (FDN), respectivamente. Entre el estado lechoso y pastoso duro, el maíz se encuentra en una condición óptima para

cosechar y ensilar, el contenido de MS es de 25 a 31%, PC de 5.7 a 6.7% y de 55 a 59% de DIVMS (Reta *et al.* 2002).

En términos generales, la calidad nutritiva de un forraje depende de la composición de la célula vegetal, la cual se conforma del contenido (proteína, cenizas, lípidos, hidratos de carbono, ácidos orgánicos) y la pared celular (hemicelulosa, celosa y lignina), como se observa en la *figura 1*.

Figura 1. Composición de la célula vegetal de un forraje

Contenido celular	Pared celular		
Proteína bruta, cenizas, lípidos, hidratos de carbono, ácidos orgánicos	F.D.N.		
	Hemicelulosa	F.D.A.	
		Celulosa	L.D.A.
			Lignina

Fuente: Adaptado de Bassi, 2007.

3.2.6.1. Materia seca

La materia seca (MS) de los alimentos está constituida por una fracción inorgánica y otra orgánica. La primera está compuesta por los minerales, mientras que en la parte orgánica se encuentran el resto de los nutrientes como los carbohidratos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos, ácidos orgánicos y vitaminas (Bassi 2007).

Según Gallardo (2013), el cultivo de maíz debe ser cosechado cuando la planta completa alcance entre 32 al 42 % de MS, para garantizar el máximo rendimiento y contenido de nutrientes, lo que favorece la palatabilidad y reduce las pérdidas durante el almacenamiento.

3.2.6.2. Cenizas

Las cenizas (CEN) representan la fracción mineral que contiene el forraje. En general, las cenizas suponen menos del 5% de la materia seca de los alimentos, estos minerales con el

agua, son los únicos componentes de los alimentos que no se pueden oxidar en el organismo para producir energía (Sierra 2005). En algunos pastos tropicales, el porcentaje de cenizas totales es mayor al 5%, alcanzando valores de hasta 10% de cenizas totales (Steinberg *et al.* 2012).

Según Sánchez y Oliviera en 1973 el maíz para forraje contiene de 7 a 10% de cenizas totales.

3.2.6.3.Extracto etéreo

El extracto etéreo (EE) o grasa bruta estima el contenido en triglicéridos de un alimento, normalmente tiende a ser muy bajo (Parsi *et al.* 2001). El contenido de extracto etéreo en la materia seca de un maíz forrajero varía de 1 a 3.5%. (Sánchez & Oliviera 1973).

3.2.6.4.Pared celular

Como se observa en la *figura 1*, la pared celular de un forraje se compone de tres fracciones: fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FAD) y lignina en detergente ácido (LAD).

La FDN es la fibra que queda luego de hervir el forraje en una solución de detergente neutro (sulfato lauril sódico y ácido etilendiaminotetraacético, EDTA). Durante el tratamiento todo el contenido celular se disuelve y queda lo correspondiente a la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina). Esta fracción, representa entre 30 y 80% de la materia seca del forraje (Buxton 1997).

La FDA corresponde a la fibra que queda luego de someter el forraje a una solución de detergente ácido (ácido sulfúrico y bromuro de acetiltrimetilamonio). En este proceso se extrae la hemicelulosa, de tal forma que la fibra restante estará constituida por celulosa y

lignina. Al igual que la FDN, los resultados se expresan en porcentaje de la materia seca (Bassi 2007).

Según Bruno *et al.* (1995) el maíz forrajero entre el estado lechoso y pastoso duro, la planta está en su condición óptima para la cosecha y conservación. El contenido debe andar entre 55 a 59% de FDN y alrededor de 36% de FDA.

La LDA Es el residuo que queda al exponer la FDA en una solución de ácido sulfúrico. Al igual que los casos anteriores, el resultado se expresa en porcentaje de LDA con respecto a la materia seca (Bassi 2007).

3.2.6.5. Proteína cruda

La proteína cruda (PC) está constituida en promedio por un 16% de nitrógeno, el cual se utiliza para estimar el contenido proteico de un alimento, multiplicando el valor obtenido por 6,25 (Bassi 2007).

Según Sánchez y Oliviera (1973) el maíz para forraje su composición química es de 4 a 11 % de proteína cruda.

3.2.6.6. Digestibilidad in vitro de la materia seca

La digestibilidad in vitro de la MS (DIVMS) es el porcentaje de MS que es digerido en el tracto gastrointestinal del animal. Se define como la proporción de alimento consumido por el animal que no se excreta en las heces y por lo tanto, se considera absorbida (Bassi 2007).

La digestibilidad de un forraje está dada en función de la composición celular, específicamente a su composición química (Bassi 2007)

El maíz forrajero tiene alrededor de 67% de DIVMS (Bruno *et al.* 1995)

3.2.7. Costos de producción de forraje

En los sistemas ganaderos es importante cuantificar todos los gastos en que se incurre para producir un determinado producto. En caso que se utilice forrajes de corte, es indispensable registrar el costo de todos los rubros que intervienen en el proceso, desde la preparación del terreno hasta llegar a la cosecha forraje. Es necesario registrar los gastos de insumos y los jornales necesarios para realizar cada actividad, obteniendo el total de gastos, valor que se divide entre el rendimiento producido, obteniendo finalmente el costo de producción por kilogramo de forraje verde y seco producido. Además, si se cuenta con los porcentajes de MS, PC y DIVMS, es posible determinar el costo por kilogramo de materia seca MS, PC y materia seca digestible (MSD).

3.3 Variedades e híbridos forrajeros utilizados en Costa Rica

3.3.1. Híbrido HR-960

El HR-960 es un híbrido tropical para producción de grano y mazorca, con adaptación entre 0 a 1400 msnm. Su grano es semi-cristalino, la altura de la mazorca es intermedia, el tamaño de la planta también es intermedio, produce por lo general dos mazorcas por planta y tiene un potencial de alto rendimiento y es tolerante a plagas que lo atacan durante el almacenamiento (SemillasMagna 2017).

3.3.2. Maíz HR-245

Este maíz es un híbrido que presenta una adaptación tropical de los 0 a los 1600 msnm, destinado para la producción de grano y resistente al volcamiento por viento. Posee una altura de planta y mazorca intermedia y con un grano blanco semi-dentado (Productora de Semillas 2017).

3.3.3. Maíz HR-Oro

Es un híbrido tropical, con adaptación de 0 a 1900 msnm con un ciclo de producción de 110 a 120 días, especial para la producción de grano. Presenta una altura de planta intermedia de 2,25 a 2,40 m y con altura intermedia de mazorcas, el tipo de grano es amarillo-cristalino (Productora de Semillas 2017).

Las siguientes seis variedades de maíz se encuentran disponibles en Costa Rica y han sido liberadas por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Dirección de Investigaciones Agrícolas (DIA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) para la alimentación humana. A continuación, se detallan las características generales de cada una de las variedades.

3.3.4. EJN2

También proviene del CIMMYT. Fue mejorada por selección recurrente, en condiciones del Pacífico Central y Norte (principalmente Guanacaste), extrayendo las variedades más promisorias para su selección. Es una variedad de polinización libre, de grano amarillo textura semi-dentado, presenta maduración tardía, se adapta al trópico bajo y contiene alta calidad de proteína (Bonilla 2009b). En promedio un kilogramo contiene 3 108.12 semillas.

3.3.5. Los Diamantes 8843

Al igual que la anterior, es una variedad nacional proveniente también del CIMMYT, mejorada de igual forma mediante selección recurrente. En este caso se evaluaron 250 líneas en la Estación Experimental Los Diamantes, ubicada en Guápiles, Limón. Se seleccionaron las ocho líneas más promisorias, luego se enviaron al CIMMYT para que se recombinaran y así obtener el cultivar Los Diamantes 8843. Es de polinización libre (VPL), de grano blanco

y textura semi-dentado, madurez tardía de 120 a 135 días, y una adaptación ecológica al trópico bajo (Bonilla 2009b). Para la variedad Diamantes 8 843 se encuentran en promedio 3 386.27 semillas por kilogramo.

3.3.6. Proteinta

Es una variedad costarricense que proviene del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), la cual fue mejorada mediante selección recurrente de 72 variedades evaluadas. Se extrajeron las variedades más promisorias, posteriormente se validaron, caracterizaron y seleccionaron. Fue liberada por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria de Costa Rica (INTA) para la producción de grano, y seleccionada en las localidades de Pejibaye de Pérez Zeledón, Upala y Los Chiles de Alajuela (Bonilla 2009b).

Un kilogramo de semilla contiene en promedio 3 886.51 semillas. Es una variedad de polinización libre (VPL), de grano blanco con textura semi-dentado, y con una madurez tardía de 125-130 días. Presenta una buena adaptación agroecológica, maíz de alta calidad de proteína que contiene un 50% más de lisina y triptófano que los convencionales (Bonilla 2009b).

3.3.7. Nutrigrano

Variedad Costarricense proveniente del CIMMYT, mediante selección recurrente de 30 variedades evaluadas en los ensayos internacionales en la localidad de Pejibaye de Pérez Zeledón. Como resultado de esta evaluación, se seleccionaron las tres variedades más promisorias; posteriormente se llevaron a una etapa de validación donde se seleccionó y caracterizó. También es variedad de polinización libre y de grano amarillo con textura semi-

dentado. Presenta madurez tardía de 120 a 130 días, adaptación agroecológica de trópico bajo. Variedad de alta calidad proteica, contiene un 50% más de lisina y triptófano que los convencionales (Bonilla 2009b). En esta variedad se encuentran en promedio 3 064.12 semillas por kg.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.Ubicación

La investigación se realizó en la Finca Experimental Santa Lucía entre los meses de Agosto y Diciembre del 2015, ubicada en el distrito Santa Lucía del cantón de Barva, provincia de Heredia. La finca se localiza a 1 267 m de altitud, en las coordenadas 10°1'20" latitud norte y 84°06'45" longitud oeste. El estudio se realizó durante el periodo comprendido entre los meses de agosto y diciembre del 2015, durante los cuales la precipitación total fue de 1443.3 mm y el brillo solar promedio fue de 5.18 MJ/m², mientras que la temperatura osciló entre 16.62 y 26.6°C (IMN, 2015).

4.2.Zona de vida

La Finca Experimental Santa Lucía se encuentra en la zona de vida de bosque húmedo premontano, en el Valle Central de Costa Rica (Tosi 1969).

4.3.Tipo de suelo

Los suelos son predominantemente Andisoles, los cuales pueden catalogarse como moderadamente fértiles, y su potencial está definido por las características de las cenizas volcánicas que los forman. Las cenizas del Volcán Irazu, por ejemplo, son mucho más ricas en bases que las cenizas del Poás. Tienen la ventaja de renovarse con suficiente frecuencia,

por lo tanto, son suelos que se mantienen "jóvenes" y conservan buenos niveles de nutrimentos (Bertsch *et al.* 1993).

Los resultados del análisis de suelo donde se realizó el estudio se observan en la **tabla 1**.

Tabla 1. Resultados de análisis del suelo donde se realizó el estudio en Finca Experimental Santa Lucía, Heredia.

	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn	Fe
			cmol(+)/L				mg/L			
Valor real	5.6	0.16	10.23	0.9	0.58	6.3	2.7	0.9	2	158
Nivel medio	5.6-6.5	0.5-1.5	4.0-20	1.0-5.0	0.2-0.6	1.0-20	3.0-20	2.0-10	6.0-50	11-100

Se puede observar que la mayoría de nutrientes se encuentran dentro del nivel medio, en el caso del Magnesio (Mg) se encuentra un poco por debajo de nivel medio, según Cakmak & Yazici (2010) el Mg es esencial en todos los procesos de fosforilación de la planta, promoviendo la transferencia, conversión y acumulación de la energía, también se encontró bajo el Zinc (Zn) y el Manganeseo (Mn). De acuerdo con Casierra y Poveda (2005), altas concentraciones de Zn y Mn reducen el área foliar y la producción de materia seca. Además, se puede ver que el pH del suelo está un poco ácido, y la producción de cultivos en suelos ácidos impide conseguir altos potenciales de rendimiento y buena calidad de las cosechas (Espinosa 1999).

En el suelo utilizado en la presente investigación tiene una relación de bases de 11.3 Ca/Mg, claramente una deficiencia de Mg, según Molina y Meléndez (2002) un suelo óptimo debe tener una relación de bases Ca/Mg de 2-5.

La acidez del suelo se encuentra fuera del rango óptimo, uno de los principales factores en el desarrollo de la acidez del suelo es la presencia del Aluminio (Al^{3+}) (Bertsh, 1993), el cultivo de maíz posee una tolerancia baja a la saturación de aluminio (TropSoils 1991).

4.4. Materiales evaluados

Como fuente forrajera, se evaluó las siguientes cuatro variedades costarricenses de maíz a diferentes densidades de siembra:

- EJM2
- Diamantes 8843
- Proteinta
- Nutri grano

Las cuatro variedades se evaluaron a densidades de 53, 66, 88 y 133 mil plantas/ha.

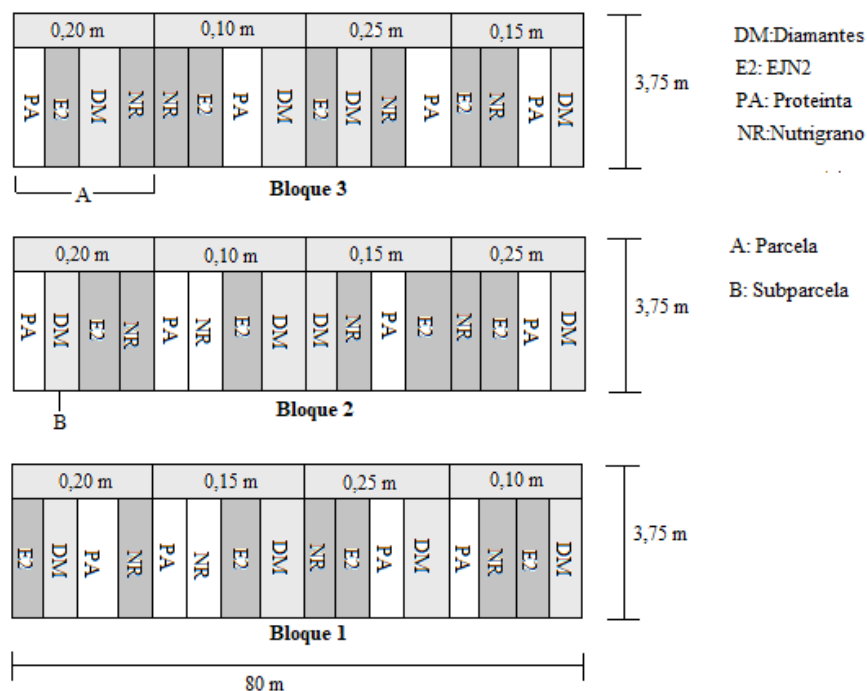
4.5. Diseño y desarrollo experimental

Para el análisis de los rendimientos de MV/ha, MS/ha y altura, se utilizó un diseño de parcelas divididas en bloques al azar con tres repeticiones; mientras que para el análisis de la calidad bromatológica de las variedades de maíz, se utilizó un diseño de bloques completos al azar. En el diseño de parcelas divididas, las parcelas grandes correspondieron a las densidades de siembra y las pequeñas a las variedades de maíz. La unidad experimental o parcela pequeña consistió de una parcela de 18.75 m^2 de 5 m de largo y 3.75 m de ancho con 5 surcos de siembra.

La parcela grande fue de 75 m^2 donde aleatoriamente se asignaron las 4 subparcelas de 18.75 m^2 las variedades de maíz a sembrar (*Figura 2*).

La parcela útil (parcela donde se realizaron las mediciones y muestreos) fue definida por tres metros lineales en los tres surcos centrales de cada parcela pequeña. Por tanto, en el área útil se obtuvieron 30, 21, 15 y 12 plantas para los tratamientos de 133 333, 88 888, 66 666 y 53 333 plantas/ha, respectivamente.

Figura 2. Distribución de los forrajes en campo según parcelas (densidad de siembra) y subparcelas (variedades de maíz).



4.6. Establecimiento y manejo de los forrajes

Para establecer los forrajes, el terreno se preparó realizando una pasada de arado y dos de rastra, con el fin de que la estructura del suelo fuera óptima. Posteriormente se realizó la siembra de forma manual, distribuyendo dos semillas por “golpe de espeque”, en surcos separados a 0.75 m entre sí y a distancias entre planta de 10, 15, 20 y 25 cm, lo que es equivalente a 53, 67, 89 y 133 mil plantas/ha, respectivamente. Finalmente, la semilla fue cubierta con una delgada capa de tierra de aproximadamente 1 cm de espesor. Cubierta la semilla, se aplicó Atrazina para evitar la emergencia de malezas de hojas anchas y gramíneas.

Además, previo a la siembra, la semilla se trató con fungicida (Carboxin) con el fin de protegerla de patógenos.

La fertilización se realizó según el análisis de suelo realizado y a lo recomendado por Bonilla (2009a) para suelos de fertilidad media-alta, la cual consistía en aplicar 100, 60, 40 y 12 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O y MgO, respectivamente, utilizando las fórmulas 10-30-10, Urea, y K-MAG. La dosis de fósforo, potasio y magnesio se aplicó al momento de la siembra, mientras que el N se fraccionó en cuatro partes iguales, aplicando la primera a la siembra, y los tres restantes cada 15 días. La fertilización se aplicó en la base de la planta, formando una línea en cada surco de la plantación.

Dada la presencia del gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*), 30 días después del establecimiento fue necesario realizar una aplicación de insecticida (Malathión), utilizando una dosis 1 L/ha.

La cosecha de los forrajes se realizó a los 105 días de crecimiento, cuando el grano de la mazorca se encontraba es estado lechoso-pastoso. Es importante mencionar que la cosecha se realizó antes de que el grano alcanzará la madurez fenológica del estado lechoso-masoso de la mazorca (Nuñez *et al.* 2005), debido a que en ese momento se inició el hurto de mazorcas.

4.5 Metodología utilizada

Para evaluar la altura de la planta, producción de biomasa y calidad nutritiva, se utilizó la metodología de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) propuesta por Toledo y Schultze-Kraft (1982). La altura de la planta, se determinó midiendo 5 plantas por parcela en cada variedad y densidad de siembra. La medida se realizó en cm, desde el

nivel del suelo hasta el punto más alto de la planta, sin estirarla y sin considerar la inflorescencia (Toledo y Schultze 1982).

Para determinar la producción de biomasa y la calidad nutritiva, se cosechó manualmente con “machete” tres metros lineales en los surcos centrales de cada parcela experimental, con el fin de evitar el efecto de borde (Toledo y Schultze 1982). Se cuantificó el rendimiento de materia verde (MV) en los tres metros lineales de cada parcela experimental, utilizando como unidad de medida g/metro lineal. Posteriormente, se calculó el rendimiento por hectárea (t/ha), multiplicando la producción obtenida en cada metro lineal (g/m) por la cantidad de metros lineales (13 333) que existen en una hectárea de terreno (Castro 2002). Este pesaje se llevó a cabo en el campo utilizando una balanza digital de tres decimales.

La producción de materia seca (MS) por metro lineal (g/m), se determinó multiplicando el rendimiento de MV obtenido en las mediciones anterior (g/m), por el porcentaje de MS de cada tratamiento. Se utilizó como unidad de medida las t MS/ha (De la Rosa 2002), multiplicando el rendimiento por metro lineal (g/m) por el número de metros lineales que tiene una hectárea (13 333).

Para determinar la calidad nutritiva, se envió una muestra de 1 kg de cada tratamiento empacadas en bolsas plásticas al laboratorio para analizar y determinar los porcentajes de MS, CE, PC, EE, FND, FAD y DIVMS.

Para obtener el costo de labores de campo se utilizó el costo por hora hombre (₡ 1 226) basado en el salario mínimo de un “Peón agrícola labores pesadas” consultado en la página del Ministerio Trabajo y Seguridad Social (MTSS 2017). En el caso del costo de hora maquinaria se utilizó el costo ofrecido en esa época en la provincia de Heredia (₡ 15 000).

En el costo de los insumos, utilizamos el costo por kilogramo o por litro en el que adquirimos cada uno (fertilizantes, herbicida, plaguicida, semilla y diésel).

4.7. Análisis de laboratorio

En contenido de MS se terminó en el en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional (UNA), la DIVMS en el Centro de Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica (UCR) y la PC, Ce, FDN, FAD, LID y EE en el Laboratorio de Aseguramiento de Calidad de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos, en Ciruelas de Alajuela.

El contenido en materia seca (MS) se obtuvo por pérdida de peso tras la desecación de 1,0 kg de forraje verde en estufa a 65 °C y 105 °C por 48 horas. El contenido de Ce se obtuvo por incineración de 2,0 g de forraje seco a 550 °C durante 6 horas.

La proteína cruda (PC) se determinó como nitrógeno Kjeldahl x 6.25 mediante el método de macro Kjeldahl (AOAC, 1984) con catalizador $\text{CuSO}_4 - \text{K}_2\text{SO}_4$ 3,5 de TECATOR, empleando 1 g de muestra y un digestor DS-20 y un equipo de destilación automático de la misma firma que para las sucesivas operaciones de digestión de las materias nitrogenadas, destilación del NH_3 y valoración simultánea del mismo.

La fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y lignina (LIG), se determinaron en secuencia mediante el procedimiento propuesto por Goering y Van Soest (1970). El extracto etéreo (EE) se determinó por barridas según el método de Espectroscopia Infrarroja Cercano (NIR) usando Infraxact Foss (FOSS NIR SYSTEMS, 1999). La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se determinó según la técnica de Goering y Van Soest (1970).

4.8. Costos de producción

En cuanto a costos, basados en los indicadores explicados en la metodología utilizada sobre horas hombre, hora maquinaria e insumos, se contabilizaron todos los gastos necesarios por cada una de las etapas y agregándole un 10% para cualquier imprevisto que puede presentarse se cuantificaron los costos de producir una hectárea para cada una de las variedades; con los rendimientos de MV/ha, MS/ha, el porcentaje de PC y DIVMS se pudo determinar el costo por kg de MV, MS, MSD y PC de cada variedad.

4.9. Análisis estadístico

Los datos obtenidos sobre altura, rendimientos de materia verde y materia seca; así como la composición nutricional se analizaron mediante el Análisis Multivariate MLG de SPSS v22, el cual proporciona un análisis de regresión y un análisis de varianza para una variable dependiente mediante uno o más factores o variables (IBM 2013).

El modelo ANOVA Multifactorial con interacciones utilizado para analizar los rendimientos de MV/ha, MS/ha y altura de las plantas, fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \gamma_k + (\beta\gamma)_{ik} + e_{ijk}$$

$$i = 1,2,3 \quad j = 1,2,3,4 \quad k = 1,2,3,4$$

Donde: Y_{ijk} = variable de respuesta

μ : = media general

τ_i = efecto del i-ésimo bloque

β_j = efecto de la j-ésima densidad de siembra

$(\tau\beta)_{ij}$ = error a (asociado a la densidad de siembra)

γ_k = efecto de la k-ésima variedad de maíz

$(\beta\gamma)_{ik}$ = efecto de la interacción entre factores

e_{ijk} = error b (error aleatorio), asociado a la k-ésima variedad de maíz y la j-ésima densidad de siembra.

El modelo ANOVA Multifactorial sin interacción utilizado para analizar la calidad bromatológica de las variedades de maíz, fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_k + e_{ijk}$$

$$i = 1,2,3 \quad k = 1,2,3,4$$

Donde: Y_{ijk} = variable de respuesta

μ : = media general

τ_i = efecto del i-ésimo bloque

γ_j = efecto de la j-ésima variedad de maíz

e_{ij} = error b (error aleatorio), asociado a la j-ésima variedad de maíz

La comparación entre tratamientos se realizó utilizando la prueba de Tukey con una significancia de $\alpha=0.05$.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Producción de Biomasa

5.1.1. Altura de las cuatro variedades de maíz en cuatro densidades de siembra.

En la *tabla 2* se puede ver el efecto de la densidad de siembra sobre la altura para cada una de las 4 variedades.

Tabla 2. Altura de planta entre cuatro variedades de maíz a 4 densidades de siembra. Santa Lucía, Heredia.

Variedad	Densidad, plantas/ha	Altura Promedio	D.E.		Sig (p-valor)
Diamantes	133 333	217.67	(±10.21)	a	0.043
	88 888	203.53	(±16.81)	ab	
	66 666	174.07	(±14.64)	b	
	53 333	196.87	(±17.62)	ab	
EJN2	133 333	186.73	(±19.33)	a	0.983
	88 888	186.60	(±22.80)	a	
	66 666	187.67	(±17.39)	a	
	53 333	192.80	(±28.08)	a	
Nutrigrano	133 333	181.13	(±7.89)	a	0.152
	88 888	169.67	(±14.76)	a	
	66 666	147.53	(±26.04)	a	
	53 333	173.07	(±10.60)	a	
Proteinta	133 333	194.80	(±10.42)	a	0.073
	88 888	180.53	(±29.91)	a	
	66 666	149.53	(±9.91)	a	
	53 333	154.80	(±22.63)	a	

Diferente letra en una misma columna marca una diferencia significativa ($P < 0.05$)

En el caso de la variedad EJN2 no existió diferencias significativas ($P > 0.05$) en los promedios de alturas entre las densidades de siembra. En las variedades Diamantes y Nutrigrano, no es claro el efecto de las densidades de siembra sobre la altura, a pesar de obtener diferencias significativas ($P < 0.05$) entre densidades de siembra. Mientras, la variedad Proteinta sembrada a una densidad de 133 333 plantas/ha, presentó una altura significativamente mayor ($P < 0.05$), con respecto a las densidades de 66 666 y 53 333 plantas/ha. La interacción con el número de plantas por hectárea no influyó en la altura.

Estudios realizados por Sánchez *et al.* (2011) no encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) en las alturas de plantas de maíz tras evaluar 3 densidades de siembra (50 000, 62 500 y 83 333 plantas/ha); por otra parte, Medina (2010) evaluó el comportamiento agronómico del híbrido de maíz DK 7088 en tres densidades de siembra y tres niveles de fertilización nitrogenada y no obtuvo diferencias significativas ($P>0.05$) entre las densidades de siembra, ni entre los niveles de fertilización. Así mismo, Aguila *et al.* (1978) evaluaron híbridos de maíz a distintas densidades de siembra (55 000, 70 000, 85 000 y 100 000 plantas/ha) y obtuvieron promedios de alturas para estas cuatro variedades en donde no se presentaron diferencias significativas ($P>0.05$).

Factores como la poca resistencia al viento y el encharcamiento, afectan el crecimiento del maíz. Según Smith y Ennos (2003), la elongación del tallo, pecíolos y la distancia entre los nudos de las plantas son factores que intervienen en la resistencia al viento. Tallos, pecíolos más cortos y engrosados resultan en plantas más bajas y resistentes al viento. Así mismo, Zambrano *et al.* (2003) menciona que el nivel freático afecta de manera significativa la altura de la planta al momento de la cosecha, obteniendo plantas de menor tamaño.

En la **tabla 3** se observa cómo influye la densidad de siembra sobre el promedio de altura de la planta.

Tabla 3. Altura de la planta en cuatro densidades de siembra en el cultivo de maíz. Santa Lucía, Heredia.

Densidad, plantas/ha	Altura Promedio, cm	D.E.
133 333	195.08 a	(± 18.14)
88 888	185.08 ab	(± 22.63)
66 666	164.70 b	(± 23.37)
53 333	179.38 ab	(± 24.93)
Sig. (p-valor)	0.004	

Diferente letra en una misma columna marca una diferencia significativa ($P < 0.05$)

La densidad de siembra mostró un efecto significativo sobre las alturas de las plantas ($P < 0.05$). Las 2 mayores densidades de siembra (133 333 y 88 888 plantas/ha) obtuvieron el promedio de plantas más altas, 1.95 m y 1.85 m, respectivamente; y no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre éstas.

Sánchez *et al.* (2011) trabajaron 3 densidades de siembra distintas, sugiriendo que el número de plantas/ha no influyó en componentes de rendimiento, pero una vez que se analizó la interacción de genotipos por densidades, las densidades de siembra tuvieron un efecto importante, ya que se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre alturas promedios de las 3 densidades de siembra. Al aumentar el número de plantas/ha se generó una mayor producción de forraje y una altura promedio mayor; esto se obtuvo en dos mediciones diferentes en distintos periodos (de noviembre del 2007 a febrero del 2008, de enero a abril del 2009).

La **tabla 4** muestra la altura de las plantas de maíz, de acuerdo a cada variedad. El efecto de variedad de maíz fue altamente significativo ($P < 0.001$) dentro del modelo.

Tabla 4. Altura de la planta en cuatro variedades de maíz en Santa Lucía, Heredia.

Variedad	Altura Promedio, cm	D.E.
Diamantes	198.03 a	(± 20.88)
EJN2	188.45 ab	(± 20.87)
Proteinta	169.92 b	(± 25.86)
Nutrigrano	167.85 b	(± 19.07)
Sig. (p-valor)	0.001	

Diferente letra en una misma columna marca una diferencia significativa ($P < 0.05$)

Se observa que las variedades Diamantes y EJN2 presentaron las mayores alturas de las cuatro variedades, sin observarse diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ellas. En el caso de Nutrigrano y Proteinta, tampoco presentan diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ellas, pero si con las dos primeras variedades, se podría decir también que Nutrigrano y Proteinta presentaron el menor promedio de altura entre las 4 variedades.

En estudios realizados por Palacio (2014) con distintos híbridos de maíz forrajero cosechados en edades 74 a 83 días, obtuvo distintas alturas promedio que van de los 1.83 m hasta los 2.87 m de altura. Este estudio presentó algunas variedades con alturas similares a las evaluadas en el presente estudio, como por ejemplo los híbridos AVANTE 2203 con una altura promedio de 1.88 m y el híbrido RIO GRANDE con 1.90 m. Además, en dicho estudio se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los híbridos manejados en campo en igual situación, pero a distinta edad de cultivo al momento de la cosecha.

Sánchez *et al.* (2011) midieron la altura de híbridos de maíz en distintas edades de cultivo (21, 35, 56, 71, 90 y 100 días de edad). El crecimiento más notable en la altura de las plantas de maíz de todos los híbridos se dio de los 35 a los 71 días donde pasaron de 0.3 m a 1.40 m, aproximadamente. A partir de los 71 días, el crecimiento sigue constante pero más

lentamente, hasta llegar a alturas entre 1.6 y 1.9 m a los 100 días después de la siembra. Los promedios de altura de las variedades del presente trabajo son similares a los obtenidos por Sánchez *et al.* (2011) a los 100 días de edad, ya que en la presente investigación la edad de cosecha fue de 105 días y la altura promedio de cada variedad fue de 1.67 a 1.98 m. Importante recalcar que en el estudio de Sánchez *et al.* (2011) se utilizó un maíz criollo como testigo y este a los 100 días de edad presentó una altura promedio de casi 2.5 m, dejando clara su superioridad en altura.

5.1.2. Producción de materia verde y materia seca de las cuatro variedades de maíz en cuatro densidades de siembra.

Con base en la *tabla 5* en el rendimiento de MS, se determinó que los efectos de la densidad de siembra, la variedad de maíz y la interacción entre ellas no fueron significativas ($P>0.05$) en el modelo. Queda claro que la interacción con la densidad de siembra no influyo significativamente ($P>0.05$) sobre los rendimientos de MV/ha y MS/ha.

Tabla 5. Rendimientos de materia verde y materia seca en cuatro densidades de siembra distintas en cultivo de maíz, Santa Lucía, Heredia.

	Densidad, plantas/ha	Media	D. E.	Intervalo confianza 95%		Sig. (p- valor)
				Inferior	Superior	
<i>Rendimiento MV, kg/ha</i>	133 333	45 165.53 a	(± 8 466.18)	39 577.91	50 753.15	0.076
	88 888	41 535.63 a	(± 12 338.82)	35 948.01	47 123.25	
	66 666	35 692.46 a	(± 12 618.98)	30 104.84	41 280.08	
	53 333	35 216.91 a	(± 8 089.46)	29 629.29	40 804.53	
<i>Rendimiento MS, kg/ha</i>	133 333	9 861.28 a	(± 22 56.453)	8 440.95	11 281.62	0.171
	88 888	8 613.63 a	(± 2 825.28)	7 193.29	10 033.96	
	66 666	7 759.64 a	(± 2 815.93)	6 339.30	9 179.98	
	53 333	7 739.21 a	(± 2 087.88)	6 318.87	9 159.55	

Diferente letra en una misma columna marca una diferencia significativa ($P<0.05$)

Estudios realizados por Reta *et al.* (2002) reflejaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el rendimiento de forraje por efecto de la densidad de población de plantas, pero no por el método de siembra; caso contrario a lo que se obtuvo en la presente investigación. Mencionan, además, que aumentar la densidad de plantas de 53 000 plantas/ha a 112 000 plantas/ha, se incrementan considerable en los rendimientos de MV pasando de 21 t/ha a 30 t/ha, respectivamente. La mayor densidad de siembra que se manejó en la presente investigación fue de 133 333 plantas/ha y con una media de rendimiento de MV de 45.2 t/ha; mientras que la menor densidad de siembra fue de 53 333 plantas/ha con un rendimiento promedio de 35.2 t/ha, rendimientos muy bajos si los comparamos por los obtenidos por Torrens y Ventimiglia (2014) quienes realizaron estudios con el cultivo de maíz a tres distintas densidades de siembra; evaluando tanto rendimiento forrajero como rendimiento en granos. Las tres densidades utilizadas fueron 70 000 plantas/ha, 90 000 plantas/ha y 110 000 plantas/ha, obteniendo rendimientos de MV de 54.57 t/ha, 54.67 t/ha y 62.30 t/ha respectivamente.

En estudios realizados por Boschini y Elizondo (2001) se demostró una disminución progresiva en la producción de MS al aumentar la distancia entre plantas (disminuir la densidad de plantas/ha); aunque la diferencia no fue significativa ($P > 0.05$). Caso similar al que se presentó en los rendimientos de MS de la presente investigación, pero sin diferencias significativas ($P > 0.05$).

Boschini y Elizondo (2004b) experimentaron con distancias entre plantas de 25 cm (densidad de 53 333 plantas/ha) obteniendo un rendimiento de materia seca promedio de 14.54 t/ha, lo

que refleja un menor rendimiento en MS de los maíces del trabajo actual, ya que en esa misma densidad de siembra se obtuvo poco más de la mitad (7.74 t/ha).

Por otra parte, Soto y Jahn (1983) midieron rendimientos de MS en distintas edades de cosecha y densidades de siembra entre 70 000 y 80 000 plantas/ha, obteniendo resultados similares a los de la presente investigación. Soto y Jahn (1983) reportan cosechas a los 97 días de edad, con un rendimiento promedio de 8.5 t/ha de MS cercano a los rendimientos promedios de MS obtenidos en la investigación actual (8.6 t/ha) en 88 888 plantas/ha. Soto y Jahn (1983) cosecharon a los 104 días de edad (edad más similar a la del presente estudio), obteniendo un rendimiento de 9.3 t/ha, similar al obtenido en la presente investigación. Además, estos mismos autores mencionan que a mayor edad de la planta en el momento de la cosecha, las t de MS por hectárea aumentan considerablemente hasta obtener rendimientos de 16.6 t/ha y 18.4 t/ha de MS a la edad de 160 y 174 días, respectivamente. Es decir, el rendimiento de MS se ve fuertemente influenciado por la edad de la planta a la hora de la cosecha. Lo anterior se debe a que conforme la planta madura muchos factores se ven influenciados, como pérdida de humedad en los granos y en la planta en general, lo que refleja el aumento de la producción de MS (INIA 1994).

Se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el rendimiento de MV entre distintas variedades (ver *tabla 6*). El mayor rendimiento en t/ha se presentó en las variedades Diamantes y EJN2. La variedad Proteinta tuvo el rendimiento más bajo pero no mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) en comparación con el rendimiento de la variedad Nutrigrano, por lo que se podría decir que ambos fueron los más bajos. De acuerdo con Boschini y Elizondo (2004a), híbridos de maíz para la producción de forraje probados en fincas lecheras mostraron rendimientos inferiores a 30 t/ha de MV, lo que podría indicar que

los rendimientos de MV obtenidos en la actual investigación son aceptables ya que van desde las 35 t/ha hasta las 45 t/ha.

Tabla 6. Rendimientos de materia verde y materia seca entre cuatro variedades de maíz, Santa Lucía, Heredia.

	Variedad	Media	D. E.	Intervalo confianza 95%		Sig. (p-valor)
				Inferior	Superior	
<i>Rendimiento MV, kg/ha</i>	Diamantes	45 176.67 a	(± 12 005.59)	39 589.05	50 764.29	0.019
	EJN2	42 951.14 ab	(± 10 883.76)	37 363.52	48 538.76	
	Nutrigrano	35 122.46 ab	(± 9 362.46)	29 534.84	40 710.08	
	Proteinta	34 360.26 b	(± 8 709.12)	28 772.64	39 947.88	
<i>Rendimiento MS, kg/ha</i>	Diamantes	9 370.27 a	(± 2 495.01)	7 949.93	10 790.60	0.058
	EJN2	9 654.18 a	(± 3 046.55)	8 233.85	11 074.52	
	Nutrigrano	7 470.60 a	(± 1 996.41)	6 050.26	8 890.94	
	Proteinta	7 478.71 a	(± 2 135.89)	6 058.37	8 899.05	

Diferente letra en una misma columna marca una diferencia significativa ($P < 0.05$)

En lo que se refiere a rendimiento de MS por hectárea, no se reflejaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre variedades.

Los resultados de rendimiento de MS por variedad van de 7.4 t/ha hasta 9.6 t/ha. Comparando con rendimientos de maíces criollos obtenidos por Amador y Boschini (2000) que obtuvieron promedios de 15.2 t de MS/ha a los 112 días de edad reflejan un rendimiento menor por parte de las variedades analizadas en el presente trabajo. Si estos mismos se comparan con rendimientos de maíz híbrido de 17.7 t de MS obtenidos por Soto y Jahn (1983) con plantas cosechadas a los 171 días, reflejan todavía más un bajo rendimiento por parte de las variedades analizadas actualmente. Se podría justificar el bajo rendimiento de estas variedades al relacionarlo con las condiciones climáticas; ya que según Ramírez *et al.* (2010) la distribución irregular de las lluvias, la variación de la temperatura y la radiación solar, provocan la disminución drástica de los rendimientos de materia seca.

5.2. Calidad nutritiva de las cuatro variedades de maíz

El contenido de MS, PC y EE no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre variedades, pero la composición de la pared celular y la DIVMS si fue significativa ($P < 0,05$).

En la **tabla 7** se muestran los resultados de la composición química de cada variedad.

Tabla 7. Parámetros de calidad bromatológica en cuatro variedades de maíz. Santa Lucía, Heredia.

Variedad	Diamantes	EJN2	Nutrigrano	Proteinta	Sig. (p-valor)
MS, %	20.86 (± 0.67) a	22.19 (± 2.32) a	21.35 (± 1.39) a	21.49 (± 1.10) a	0.755
PC, %	10.55 (± 0.56) a	10.97 (± 0.87) a	11.25 (± 0.16) a	10.20 (± 0.38) a	0.183
FDA, %	35.30 (± 1.63) a	32.89 (± 0.73) a	32.54 (± 1.24) a	32.70 (± 1.10) a	0.072
FDN, %	62.45 (± 1.41) a	59.69 (± 0.71) bc	59.16 (± 0.45) c	61.39 (± 0.41) ab	0.005
EE, %	1.83 (± 0.13) a	1.87 (± 0.09) a	1.86 (± 0.06) a	1.96 (± 0.05) a	0.342
Ce, %	8.84 (± 0.14) ab	8.68 (± 0.66) ab	9.19 (± 0.27) a	8.07 (± 0.10) b	0.031
Lig, %	3.36 (± 0.22) a	2.89 (± 0.18) ab	2.48 (± 0.04) b	3.09 (± 0.32) a	0.006
DIVMS, %	60.90 (± 2.30) a	61.55 (± 0.35) ab	62.00 (± 0.90) ab	64.40 (± 0.50) b	0.043

Diferente letra en una misma fila marca una diferencia significativa ($P < 0.05$)

5.2.1. Materia seca

Los contenidos de MS entre variedades se muestran en la **tabla 7**. No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el contenido de MS en las distintas variedades, las cuales obtuvieron porcentajes de MS muy cercanos, de 20.86% a 22.2%.

Boschini y Elizondo (2004a) obtuvieron porcentajes de MS, promedio de 7.7% a 21.2% a distintas edades de la planta al momento de la cosecha. Estos autores obtuvieron por ejemplo porcentajes de MS de 13.25% y 14.99% en materiales de maíz cosechados a 98 y 112 días, respectivamente; los cuales estuvieron por debajo a los obtenidos en la presente investigación. La superioridad de los porcentajes de MS obtenidos en la presente investigación en comparación con los reportados por Boschini y Elizondo (2004a), pueden deberse a factores climáticos o edáficos (Pordomingo *et al.* 2000).

Las diferencias que se presentan en el porcentaje de MS representan, en gran medida, el grado de madurez alcanzado (Cortés y Silva 1995). Pordomingo *et al.* (2000) citan que los pastos en invierno presentan una alta variabilidad en MS y proteína, como consecuencia de múltiples factores de manejo, edáficos y climáticos. Ruiz *et al.* (2006) trabajaron en La Habana, Cuba, con siete distintos híbridos comerciales de maíz cultivadas en iguales condiciones y obtuvieron porcentajes de MS relativamente bajos, tal y como el híbrido H9403 que presentó un promedio de 18.4%; pero otros híbridos como es el caso de 32R25 y 725 presentaron contenidos altos de 24.5% y 24.3%, respectivamente. Según Cárdenas (2010), el contenido de MS al momento de la cosecha para un híbrido o variedad de maíz debe estar en el rango de 30 a 35% y el rendimiento debe ser superior a 30 t MS/ha, equivalente a 90 t MV/ha, los cuales difieren a los resultados del presente estudio. De acuerdo con Pordomingo *et al.* (2000), en otoño o principios de invierno, las pasturas presentan un desbalance nutritivo con un nivel de MS muy por debajo de lo esperado, debido la alta disponibilidad de agua en el suelo. Tomando en cuenta lo anterior, la cosecha de la presente investigación se realizó en época lluviosa con altas precipitaciones, lo que pudo influir en el contenido de MS.

5.2.2. Proteína Cruda

Como se observa en la **tabla 7**, el contenido de PC promedio cada una de las variedades, no presenta diferencias significativas ($P > 0.05$) entre estas y se obtuvieron resultados de entre 10.2% a 11.25%.

Boschini y Elizondo (2004a) encontraron contenidos de PC de 10.20% y 9.20% a los 98 y 112 días pos siembra, respectivamente. Las variedades de la presente investigación obtuvieron rendimientos mayores a estas y la edad de la planta al momento de la cosecha era de 105 días. También si se compara con otros cultivos como los resultados obtenidos por

Cisint *et al.* (2014) en cultivos de sorgo forrajero que mostraron porcentajes de PC de entre 6.0% a 8.8%. Se debe considerar que el contenido de PC depende en alguna medida de la madurez de la planta, situación que fue reportada por Boschini y Elizondo (2004a) al evaluar el efecto de la edad de cosecha sobre la calidad nutricional del maíz.

Los porcentajes de la presente investigación son relativamente buenos si los comparamos con resultados obtenidos por Mena (2010), que experimentó con 4 híbridos de maíz forrajero en Valdivia, Chile y logró resultados de PC de 7.25% para el híbrido 39G12, 7.32% para Tango, 7.60% en el híbrido Andor y 7.70% para Delitop.

Demagnet (2009), señala que el rango de proteína de la planta entera de maíz forrajero está entre 6 y 10% y que aunque éste sea bajo, puede aportar un buen porcentaje de la proteína que necesita una vaca lechera de alta producción. Por esta razón, está claro que las variedades de maíz utilizadas en la investigación actual presenta rendimientos de PC aceptables que están por encima de los esperados en cultivares de maíz forrajero. Esto se puede deber a la fertilización nitrogenada que se le aportó al cultivo, ya que la misma fue fraccionada y bajo la recomendación para suelos de fertilidad media-alta (Bonilla 2009a). De acuerdo con Arredondo *et al.* (2004) el contenido de proteína no se ve afectado por la cantidad de plantas por hectárea, sin embargo, la fertilización nitrogenada juega un rol fundamental en el desarrollo del maíz.

5.2.3. Fibra ácido detergente

En la *tabla 7* se pueden observar los porcentajes de FDA, los cuales están entre 32.7% a 35.3%, considerados como aceptables, según el Manual de forrajes Pioneer (DMU 1990) citado por Romero (2004) el cual debe estar entre 20 y 40% de FDA.

Boschini y Elizondo (2004a) obtuvieron en el maíz híbrido 3002 W blanco, resultados de FDA de 42.73% a los 98 días y 41.02% a los 112 días de edad de la planta, los valores de la presente investigación son más acordes ya que en porcentajes de FDA se buscan que sean más bajos.

La FDA es comúnmente utilizada para estimar la digestibilidad del forraje y presenta una asociación negativa, ya que entre mayor sea el porcentaje de FDA, menor es su DIVMS (Romero y Mattera 2010). Esto se puede ver claramente con la variedad Diamantes que presenta una FDA significativamente mayor ($P < 0.05$) con respecto a las demás variedades y a su vez, presenta la DIVMS más baja.

Al comparar los contenidos de FDA de la presente investigación con los reportados por Romero y Mattera (2010) quienes obtuvieron en híbridos de maíz promedios de FDA que van de los 23.5% a los 25.0% queda clara la superioridad de los híbridos de Romero y Mattera ya que esos porcentajes de FDA influyen sobre mejores porcentajes de digestibilidad.

Según Bertoia (2004), la variación genética entre genotipos de maíz afecta los contenidos de FDA, sobre todo en los híbridos graníferos comerciales, los cuales tienen un alto contenido de FDA; esto justificaría que las variedades de la investigación actual contengan porcentajes tan altos de FDA, ya que estas variedades fueron provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) mejoradas mediante selección recurrente buscando buen rendimiento de grano.

Estudios realizados por Ruiz *et al.* (2006) obtuvieron valores de FDA muy superiores (de 36% a 43%) comparados a los obtenidos en el presente estudio, los cuales pueden estar vinculados a características del material genético como se explicó anteriormente.

5.2.4. Fibra neutro detergente

Con relación al contenido de FDN, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre variedades. Las variedades EJN2 y Nutrigrano presentaron valores de FDN de 59.69 y 59.16%, respectivamente, los cuales fueron significativamente más bajos en comparación con las variedades Diamantes y Proteína.

En la misma investigación de Boschini y Elizondo (2004a) con el maíz híbrido 3002 W blanco, obtuvieron resultados de FDN de 71.79% a los 98 días y 77.16% a los 112 días de edad de la planta, los valores de la presente investigación son más idóneos ya que en porcentajes de FDA se buscan que sean más bajos.

Los resultados de FDN obtenidos por las cuatro variedades, quedan fuera de los parámetros aceptables según el Manual de forrajes Pioneer (DMU 1990) citado por Romero (2004) donde se indica que los parámetros de FDN de un maíz para forraje deben de estar entre 30 y 58%. Resulta importante mencionar que el contenido de FDN podría verse afectado por la altura de corte de la planta; ya que, al incrementarse, se disminuye la concentración de FDN y se mejora la calidad del forraje cosechado, debido a que se deja en el campo una porción de tallo que es fibroso y altamente lignificado (Elizondo 2011). En la presente investigación, las plantas se cosecharon a nivel del suelo y las plantas incluían la totalidad del tallo al momento de ser procesadas para los análisis bromatológicos; razón por la cual estos resultados podrían ser superiores a los encontrados en otras investigaciones.

Según Bittman *et al.* (2004) señalan que a medida que aumenta la FDN en las plantas, los animales tienden a consumir menos forraje, por lo que valores de FDN tan elevados no son deseables en la alimentación animal.

En Arlington, EE. UU, Darby y Laurer (2002) trabajaron con cuatro híbridos, obteniendo porcentajes de FDN entre 39.2 a 42.5%. A su vez Romero y Mattera (2010), trabajando con 14 híbridos de maíz en INTA Rafaela (Santa Fe, Argentina) obtuvieron un promedio de todos los híbridos de 50.2% de FDN para la siembra temprana y 52.9% de FDN para la siembra tardía. De acuerdo con Ruiz *et al.* (2006), se puede asumir que este tipo de diferencias de porcentaje de FDN se deben a las condiciones de crecimiento de las plantas, a las diferentes condiciones climáticas, así como a las diferencias genéticas de los híbridos o variedades.

5.2.5. Extracto Etéreo

Se puede ver en la *tabla 7* que los porcentajes de extracto etéreo de las cuatro variedades van de 1.83% a 1.96% sin diferencia significativa ($P>0.05$) entre ellas. Parsi *et al.* (2001) indican que el extracto etéreo o grasa bruta estima el contenido en triglicéridos de un alimento y normalmente tiende a ser muy bajo en los forrajes. Usualmente, sus valores medios son de 2% en leguminosas y 3% en gramíneas. En la presente investigación, el contenido de extracto etéreo de las variedades de maíz no superó el 2%.

Trabajando con asociaciones de maíz y vigna (*Vigna radiata*) cultivadas a dos densidades de siembra Castillo *et al.* (2009) obtuvieron resultados de extracto etéreo que van de 1.26 a 1.69%, inferiores a los contenidos de las variedades de la presente investigación. Bressani y Arroyave (1980) atribuyen los cambios en los contenidos de extracto etéreo en plantas de maíz al efecto del piso altitudinal.

5.2.6. Cenizas

Los resultados de Ce de las cuatro variedades presentaron algunas diferencias significativas ($P<0.05$) como es el caso de la variedad Proteinta, que obtuvo el porcentaje más bajo (8.07%)

y presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) con respecto a las variedades Diamantes y Nutrigrano (8.84% y 9.19%, respectivamente). No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las variedades EJN2 y Proteinta. En el caso de las variedades Diamantes, EJN2 y Nutrigrano no existieron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ninguna de ellas.

Los resultados de Ce obtenidos por las cuatro variedades de maíz vistas en el presente estudio, están dentro de los parámetros aceptables (entre 7 a 10%), de acuerdo con lo mencionado por León (1980) con respecto al cultivo de maíz.

Boschini y Elizondo (2001) obtuvieron resultados de Ce en cultivos de maíz que van de los 12.03% a los 12.07%; mientras que Elizondo (2011) obtuvo porcentajes de Ce de 11.79% y 11.28% en maíz criollo. El contenido de Ce es un aspecto importante a considerar al momento de seleccionar las variedades de maíz, ya que forrajes con altos contenidos de Ce por lo general, tienen menos energía que aquellos forrajes con menos Ce (Weiss 2014).

Según Weiss (2014) altas concentraciones de Ce en los forrajes pueden indicar contaminación de metales pesados en el suelo, pudiendo reducir la disponibilidad de minerales nutricionales importantes en el forraje.

5.2.7. Lignina

La variedad Nutrigrano presentó contenidos de lignina significativamente menores ($P < 0.05$) al resto de variedades; mientras, la variedad Diamantes mostró el mayor contenido de lignina, aunque no difiere significativamente ($P > 0.05$) con la variedad Proteinta.

Estas diferencias entre los porcentajes de lignina pueden deberse a que entre las 4 variedades, aun cuando en todos ellos se consideró el estado fenológico del grano para definir el momento óptimo de cosecha, existió una clara diferencia en la madurez de las variedades en el

momento del corte. Según Faggi (2000) cuando la planta de maíz madura, en particular en la zona inferior del tallo, se produce un aumento en el grosor de la pared celular, producido principalmente por un depósito y aumento de contenido de lignina.

Según Bertoia (2004), la lignina es casi indigerible y puede inhibir la digestión de otros constituyentes orgánicos, afectando principalmente la digestibilidad. Lo anterior, se pone de manifiesto en la variedad Diamantes, la cual tiene el porcentaje de lignina más alto (3.36%) y presenta la menor digestibilidad con respecto a las demás variedades. Esto también se relaciona con que es la variedad con el contenido de FDA mayor, lo que afecta la digestibilidad del material (Bassi 2007).

Los valores de lignina obtenidos por las cuatro variedades (Diamantes, EJM2, Nutri grano y Proteinta) son aceptables, como indican Ramirez *et al.* (1999) el contenido de lignina en el maíz es bajo, oscilando entre el 2 y 4%.

Boschini y Elizondo (2001) obtuvieron valores de lignina de 4.06% a 4.66%, superiores a los encontrados en el presente estudio. De acuerdo con Bittman *et al.* (2004), la cantidad de lignina aumenta a medida que avanza la madurez de la planta; aspecto a considerar cuando se desea un bajo contenido de lignina (Ramirez *et al.* 1999).

5.2.8. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

La DIVMS presenta diferencias significativas ($P < 0.05$) entre la variedad Proteinta con respecto a las demás. Esta variedad presentó el porcentaje de DIVMS más alto (64.40%); mientras que no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las demás variedades. La variedad Diamantes presenta el porcentaje de DIVMS más bajo de todas y

esto está ligado a que tiene los porcentajes más altos de FDA y lignina, como se indicó anteriormente.

Estudios realizados por Ruiz *et al.* (2006) obtuvieron en plantas de 230 cms de altura, promedios de DIVMS en híbridos comerciales de maíz de 63.5% a 69.4%. Por encima a los obtenidos en la presente investigación; sin embargo, además de las características intrínsecas de la variedad de maíz, la altura de corte podría estar afectando esta variable (Elizondo 2011, Gutiérrez *et al.* 2000, Scheneiter y Carrete 2004).

En los resultados de Boschini y Elizondo (2004a) se muestran los porcentajes de DIVMS en plantas de maíz cosechados a distintas edades; reportando así, valores de 64.06, 58.25 y 52.45% cosechados a 84, 98 y 112 días, respectivamente. En el caso de las variedades del estudio actual, la cosecha se realizó a los 105 días, obteniendo resultados de 60.90% a 64.40%, superiores a los encontrados por dichos autores a edades cercanas.

5.3. Costo de producción por etapa y costos por kilogramo de materia verde, materia seca y proteína cruda de cada una de las 4 variedades de maíz.

En la **tabla 8** se presenta el detalle del costo de establecimiento, manejo y cosechado de una hectárea de maíz forrajero, según los datos obtenidos en la investigación. El costo total determinado por hectárea es igual para las cuatro variedades de maíz, ya que se utilizó la misma preparación del terreno, sistema de siembra, cantidad insumos, mano de obra y modalidad de cosecha. Como se observa en la **tabla 8**, la siembra representa el mayor rubro (¢427 335.39) o (\$790.38; equivalente al 56.8%) con respecto al costo total por hectárea, debido al alto requerimiento de mano de obra para realizar las labores de “espeque”, primera fertilización, distribución y tapado de la semilla. El segundo rubro en importancia económica

es la cosecha del forraje (¢147 989 o \$273; equivalente al 19.71%), debido a la alta necesidad de mano de obra para realizar la cosecha manual. Los rubros preparación del terreno y mantenimiento de la plantación son los que menor aportan al costo, los cuales oscilan entre el 11.5 y 12.0%.

De acuerdo con Villalobos *et al.* (2015), el establecimiento (preparación de terreno y siembra) de forrajes anuales varía entre ¢ 43 000 y ¢ 243 000 por hectárea. En la presente investigación, el costo de estos rubros fue superior (¢ 517 005.39), debido a que la siembra fue manual con alto requerimiento de mano de obra. Los restantes rubros se encuentran dentro de los parámetros reportados por Villalobos *et al.* (2015), quienes indican que las labores de mantenimiento tienen un costo entre ¢ 29 000 y ¢99 000, y la cosecha entre ¢ 10 000 y ¢ 243 000 por hectárea.

Tabla 8. Costos de establecimiento, manejo y cosecha de una hectárea del cultivo de maíz con fines forrajeros en Santa Lucía, Heredia (colonos y dólares).

Rubro	Cantidad	Unidad	Costo/ unidad	Costo Total/ha (¢)	Costo Total/ha (\$) *	%
Preparación de Terreno						
Labores						
Aplicación herbicida (bomba de espalda)	10	hh/ha	¢ 1 226	¢ 12 260	\$ 23	
Rastrea	4.5	hm/ha	¢ 15 000	¢ 67 500	\$ 125	11.51%
Insumos						
Herbicida (Atrazina)	2	l/ha	¢ 3 455	¢ 6 910	\$ 13	
Total Preparación de Terreno				¢ 86 660	\$ 160	
Siembra						
Labores						
Siembra manual al espeque	48	hh/ha	¢ 1 226	¢ 58 848	\$ 109	56.75%
Aplicación manual de fertilizante	10	hh/ha	¢ 1 226	¢ 12 260	\$ 23	
Insumos						

Semilla	38.25	kg/ha	₡ 2 000	₡ 76 500	\$ 141
Insecticida para cura de semilla (Carboxin)	1.53	kg / ha	₡ 19 183	₡ 29 350	\$ 54
Insecticida para cura de semilla (Vitavax)	1.53	kg / ha	₡ 19 140	₡ 29 284	\$ 54
Fertilizante Nitrogenado (Urea 46%)	74.25	kg/ha	₡ 250	₡ 18 563	\$ 34
Fertilizante fosfatado (10-30-10)	458	kg/ha	₡ 339	₡ 155 399	\$ 287
Fertilizante de potasio (Kamac)	67	kg/ha	₡ 269	₡ 18 023	\$ 33
Transporte de insumos	1	%	₡ 29 108	₡ 29 108	\$ 54
Total de Siembra				₡ 427 335	\$ 790

Mantenimiento

Labores					12.09%
Fertilización	8	hh/ha	₡ 1 226	₡ 9 808	\$ 18
Control químico de malezas (bomba de espalda)	8	hh/ha	₡ 1 226	₡ 9 808	\$ 18
Control químico de plagas	5	hh/ha	₡ 1 226	₡ 6 130	\$ 11
Insumos					
Fertilizante Nitrogenado (Urea 46%)	222.75	kg/ha	₡ 250	₡ 55 688	\$ 103
Insecticida (Malathion)	1	l/ha	₡ 4 190	₡ 4 190	\$ 8
Herbicidas (Atrazina)	1	kg/ha	₡ 5 400	₡ 5 400	\$ 10
Total de Mantenimiento				₡ 91 023	\$ 168

Cosecha

Labores					19.65%
Corta	75	hh/ha	₡ 1 226	₡ 91 950	\$ 170
Picado	4.5	hh/ha	₡ 1 226	₡ 5 517	\$ 10
Transporte c/ vehículo	2	hh/ha	₡ 1 226	₡ 2 452	\$ 5
Carga y descarga	20	hh/ha	₡ 1 226	₡ 24 520	\$ 45
Insumos					
Combustible (Diesel)	50	l/ha	₡ 471	₡ 23 550	\$ 44
Total de Cosecha				₡ 147 989	\$ 274
Totales de 4 etapas				₡ 753 018	\$ 1 393 100%
10% Imprevistos				₡ 75 302	\$ 139
Total Neto/ha				₡ 828 320	\$ 1 532

*TC Promedio 1\$=₡540.67 (2015, BCCR)

hh/ha: horas hombre por hectárea

hm/ha: horas maquinaria por hectárea

Tomando en cuenta los costos por hectárea descritos anteriormente y los rendimientos de forraje verde, materia seca de cada variedad, así como el contenido de MS, PC y DIVMS obtenidos en cada forraje, se determinó el costo por kilogramo de forraje verde (FV), materia seca (MS), materia seca digestible (MSD) y proteína cruda (PC), los cuales se presentan en la **tabla 9**.

Con respecto al costo por kg de MV, la variedad Diamantes presenta el menor valor (₡ 18.30), pero la variedad EJM2 presentó el valor más bajo por kilogramo de MS (₡ 85.80), MSD (₡ 139.40) y PC (₡ 782.20), mientras que en las otras variedades los costos de dichos nutrientes fueron iguales o superiores a 88.40, 145.20 y 837.50 colones/kg, en el mismo orden. Importante resaltar, que la variedad Nutrigrano y Proteinta alcanzaron los mayores costos en todas las variables evaluadas.

Los costos de producción por kg de MV oscilaron entre ₡ 18.33 y ₡ 24.11, similares al rango de ₡ 7 y ₡ 25.26 obtenido por Villalobos *et al.* (2015) también con maíz forrajero. Sin embargo, según estos autores, el costo por kg MV obtenido con avena (₡27.5) y sorgo forrajero (₡ 10.13) es superior e inferior, respectivamente, a los alcanzados en la presente investigación.

Según Villalobos *et al.* (2013), el costo por kg MV proveniente de los pastos de piso como el kikuyo (*Kikuyuochloa clandestina*), estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) y rye grass (*Lolium perenne*) (entre ₡ 1.54 y 13.26) son inferior a los obtenidos en el presente estudio con el cultivo de maíz forrajero, debido a los menores requerimientos de mano de obra necesarios, principalmente para realizar las labores de siembra, cosecha, acarreo y picado del forraje, además de los aplicaciones de agroquímicos para el combate de plagas.

Con respecto a los costos por kilogramo de MS, los valores oscilaron entre ₡ 85.81 y ₡110.95 (\$0.16 a \$0.21), valores superiores a los reportados por Rodríguez *et al.* (2012) en Paraná, donde el costo del kg de MS producido en Sorgo Forrajero (*Sorghum vulgare*) es de \$0.133/kg e igual para el caso de Soja forrajera (*Neonotonia wightii*) \$0.133/kg. Centeno *et al.* (2014) reportan para alfalfa (*Medicago sativa*) un costo por kg de MS producido en campo de \$ 0.22 (equivalente a ₡ 118.94, con un tipo de cambio de \$ 1 = ₡ 540.61); superior que el costo encontrado en la presente investigación.

El costo de producción por kg de PC varió entre ₡ 782.22 a ₡ 1 064.90, con un costo promedio de ₡ 917.70. Al compararlos con pastos de piso, están muy por encima de los costos obtenidos por Villalobos *et al.* (2013), donde el kg de PC de estrella africana, kikuyo y ryegrass fue de ₡ 103.0, ₡ 143.4 y ₡ 114.8, respectivamente. Si se habla de un alimento balanceado comercial del mercado en el país con 16% de PC y en el cual, el costo del kg de PC es de ₡ 1 486.05, las cuatro variedades de maíz de la presente investigación en comparación a este concentrado muestran un menor costo.

El costo promedio del kg de MSD fue de ₡ 158.04, encontrándose rango entre ₡ 139.41 y ₡ 178.95. El menor costo se observó en la variedad EJM2, seguido de la variedad Diamantes. Las variedades Nutri grano y Proteinta son las que presentan los kg de MSD de mayor costo, con ₡ 178.95 y ₡ 168.66 respectivamente.

Tabla 9. Costos de producción por kg de materia verde, materia seca, proteína cruda y materia seca digestible para cada una de las cuatro variedades. Santa Lucía, Heredia.

RUBRO	Diamantes	EJN2	Nutrigrano	Proteinta	Promedio
Costo por kg MV producido	₡ 18.33 \$ 0.03	₡ 19.29 \$ 0.04	₡ 23.58 \$ 0.04	₡ 24.11 \$ 0.04	₡ 21.33 \$ 0.04
Costo por kg MS producido	₡ 88.38 \$ 0.16	₡ 85.81 \$ 0.16	₡ 110.95 \$ 0.21	₡ 108.62 \$ 0.20	₡ 98.44 \$ 0.18
Costo por kg PC producido	₡ 837.46 \$ 1.55	₡ 782.22 \$ 1.45	₡ 986.22 \$ 1.82	₡ 1 064.90 \$ 1.97	₡ 917.70 \$ 1.70
Costo por kg MSD producido	₡ 145.12 \$ 0.27	₡ 139.41 \$ 0.26	₡ 178.95 \$ 0.33	₡ 168.66 \$ 0.31	₡ 158.04 \$ 0.29
TC Promedio 1\$=₡540.67 (2015, BCCR)					

5. CONCLUSIONES

La interacción de la densidad de siembra con la variedad no influyó en la altura; en los rendimientos de MV las significancias de los efectos de densidad de siembra y variedad de maíz fueron significativos ($P < 0.05$); pero no así para la interacción entre estas variables ($P > 0.05$). Con la MS se concluye que los efectos de la densidad de siembra no fueron influyentes en estos rendimientos.

Las variedades Diamantes y EJN2 tuvieron los mayores promedios de altura, presentando diferencias estadísticas sobre las otras variedades.

Las cuatro variedades mostraron rendimientos promedios de MV superiores a 34 t/ha. Las variedades Diamantes y EJN2 se diferenciaron estadísticamente como las de mayores rendimientos de MV.

No existieron diferencias significativas entre los rendimientos de MS de las cuatro variedades; estos rendimientos van de 7.4 t/ha a 9.6 t/ha.

No se presentaron diferencias estadísticas significativas en los porcentajes de MS y PC entre las cuatro variedades. Se obtuvieron bajos porcentajes de MS debido probablemente a que se sembraron los cultivos a inicios de la época lluviosa. Al mismo tiempo los porcentajes de PC estuvieron altos.

Las cuatro variedades presentaron porcentajes de DIVMS superiores a 60%. La variedad Proteinta presentó diferencia estadística y el porcentaje de DIVMS más alto con respecto a las otras variedades.

La variedad Diamantes presentó el contenido más alto de FDA, FDN y lignina; y al mismo tiempo presentó el porcentaje de DIVMS más bajo de todas las variedades.

Las cuatro variedades no presentaron diferencias significativas entre ellas con respecto al contenido de extracto etéreo; mientras que la variedad Nutrigrano resulto ser la de mayor contenido de cenizas totales.

La variedad Diamantes presentó el kg de MV de menor costo entre las cuatro variedades; pero la variedad EJN2 presentó los kg de MS, PC y MSD de menor costo.

Resultó de menor costo un kg de PC de cualquiera de las cuatro variedades, que un kg de PC de un concentrado.

6. RECOMENDACIONES

Es necesario realizar más investigaciones en estas variedades de maíz haciendo la cosecha y las mediciones a distintas edades de la planta; ya que este, es un factor que influye más sobre los rendimientos de MV, MS y los promedios de altura.

Para tener más resultados de calidad nutricional se recomienda realizar en futuras investigaciones varias cosechas y análisis de laboratorio a distintas edades de la planta.

Es importante conocer los resultados que se podrían obtener en cuanto a rendimientos y calidad nutricional de estas variedades en otras épocas de siembra, por lo que realizar esta investigación en distintas épocas del año es de gran ayuda con el fin de tener un panorama más claro acerca de la viabilidad económica.

La fertilización influye directamente sobre el rendimiento y calidad nutricional de la planta de maíz, en futuras investigaciones sería importante trabajar con distintos niveles de fertilización en las cuatro variedades de maíz.

Debido a la variedad de suelos y microclimas de Costa Rica, se recomienda realizar pruebas sobre estos forrajes en otras regiones del país para conocer su comportamiento.

7. LITERATURA CITADA

- Acosta, R. 2009. El cultivo de maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. Cultivos Tropicales. 30 (2).
- Aguila, A; Violic, A; Gebauer, B. 1978. Efectos de población y distancia de siembra entre hileras, sobre rendimiento y otras características de dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Rev. Agricultura Técnica México. 3 (4): 198-203.
- Antolín, D; González, R; Goñi, C; Domínguez, V; Ariciaga, G. 2009. Rendimiento y producción de gas in vitro de maíces híbridos conservados por ensilaje o henificado. Técnica Pecuaria en México. 47(4):413-423 p.
- Amador, A; Boschini, C. 2000. Fenología productiva y nutricional del maíz para la producción de forraje. Agronomía Mesoamericana. 11(1):171-177.

- AOAC. 1984. Association of official analytical chemists, official methods of analysis. 13th Edition. Washington DC. EUA.
- Arredondo, S; Jahn, E; Soto, P. 2004. Mejoramiento del porcentaje de proteína en maíz para ensilaje con el aumento y parcialización de la fertilización nitrogenada. Agricultura Técnica. Chile. 64(2):156-162.
- Bassi, T. 2007. Conceptos básicos sobre la calidad de los forrajes. Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Argentina. Consultado 7 feb. 2017. Disponible en <http://www.cerealesyforrajes.com.ar/TechNotes/PDF/TechNote03.PDF>
- Beg, M. 2000. Fertilización del cultivo del maíz. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Instituto de Investigaciones Agronómicas. Maracay. Venezuela.
- Bertoia, L. 2004. Algunos conceptos sobre el cultivo de maíz para ensilaje. Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Argentina. Consultado 5 abr. 2015. Disponible en <http://www.infortambo.com/admin/upload/arch/EI%20cultivo%20de%20maiz%20para%20ensilaje%20-%20L%20Bertoia.pdf>
- Bertsh, F; Mata, R; Henríquez, C. 1993. Características de los principales ordenes de suelos presentes en Costa Rica. Presentado en el IX Congreso Nacional Agropecuario y de Recursos Naturales.18-22 de octubre, 1993. San Jose, Colegio de Ingenieros Agrónomos.
- Consultado 10 Agost. 2015. Disponible en http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_ix/A01-1277-15.pdf

- Bittman, S; Kowalenko, C; Hunt, D; Bounaix, F. 2004. A new low disturbance liquid manure applicator. Bittman, S. y Kowalenko, C. (eds). Advanced Silage Corn Management. Pacific Field Corn Association. British Columbia, Canadá. 70 – 71 p.
- Bonilla, N. 2009. a. Manual de recomendaciones. Cultivo de maíz. INTA. Costa Rica. 9 p-17p
- Bonilla, N. 2009. b. Variedad de Maíz: Proteinta, Diamantes 8843, Nutrigrano, EJM2. Proyecto granos básicos. INTA. Costa Rica.
- Boschini, C; Elizondo, J. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 12 (2): 181-187.
- Boschini, C; Elizondo, J. 2004.a. Desarrollo productivo y cualitativo de maíz híbrido para ensilaje. *Agronomía Mesoamericana*. 15 (1): 31-37.
- Boschini, C; Elizondo, J. 2004.b. Rendimiento de forraje de dos materiales genéticos de maíz (*Zea mays L.*) sembrados a diferentes distancias de siembra. *Revista Científica Agronomía Tropical*. 34: 87-92.
- Bressani, R; Arroyave, G. 1980. El valor nutritivo de las variedades de maíz cultivadas en Centro América. Nitrógeno, extracto etéreo, fibra cruda y minerales de veinticuatro variedades de Guatemala. Instituta de Nutrición de Centro América y Panamá. INCAP. Consultado 2 feb. 2017. Disponible en <http://hist.library.paho.org/Spanish/BOL/s1n1p80.pdf>
- Bruno, O; Romero, L; Días, M; Gaggiotti, M. 1995. Efecto del momento de corte del maíz para ensilaje sobre la producción de leche. INTA, Reporte Técnico. Argentina. 100 p.

- Buxton, D.R. 1997. Plant limitations to fiber digestion and utilization. New Developments in Forage Science Contributing to Enhanced Fiber Utilization by Ruminants. *Journal of Nutrition*, 127: 814S–818.
- Cakmak, I; Yazici, A. 2010. Magnesium: Forgotten element in Crop Production. *Better Crops* 94(2):23-25.
- Cárdenas. L. 2010. Producción de 18 híbridos de maíz (*Zea Mays* L.) para ensilaje en el área de riego del llano central de la región de la Araucanía. Universidad de la Frontera, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Temuco, Chile. 38 p.
- Casierra, F; Poveda, J. 2005. La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto. *Revista Agronomía Colombiana* 23(2): 283-289.
- Castillo, M; Rojas, A; Wingching, R. 2009. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con vigna (*Vigna radiata*). *Agronomía Costarricense*. 33(1): 133-146.
- Castro, R. 2002. Ganadería de la leche. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José. Costa Rica. 140-141 pp.
- Centeno, A; Suero, M; Molla, A. 2014. Los alimentos en el tambo: el costo de hacerlos y el precio de comprarlos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. Consultado 14 feb. 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/255-alimentos_en_tambo.pdf
- Cerdas, R. 1977. Cambios en el valor nutritivo de los pastos Jaragua (*Hyparrhenia rufa*, Ness Stapt) y Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*) durante la época seca del trópico. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica. 81p

- Cisint, G; Martín, O; Medina, C; Toll Vera, J. 2014. Rendimiento forrajero y calidad nutricional de silajes de sorgo. *Rev. Agron. Noroeste Argentina*. 34 (2): 139-141.
- Cortés, B, Silva, M. 1995. Evaluación de híbridos de maíz para ensilaje en la X región. Resultados de dos temporadas. *Avances en Producción Animal*. Universidad de Chile. 20: 229 p.
- Darby, H; Lauer, J. 2002. Harvest date and hybrid influence on corn forage yield, quality, and preservation. Arlington, EE.UU. Consultado 3 feb. 2017. Disponible en <http://corn.agronomy.wisc.edu/>
- De La Roza, B., Martínez, F y Argamentoría, A. 2002. Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis. Área de Nutrición, Pastos y Forrajes. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA). Asturias. España. 91-104 pp.
- Demagnet, R. 2009. Híbridos de maíz para ensilaje en la zona sur. **In:** Es tiempo de en silaje de maíz. Bioleche. Casas del Alto. Osorno, Chile.
- Deras, H. 1999. Guía técnica. El cultivo del maíz. IICA. El Salvador. 11 p
- DMU (Des Moines University, Iowa, EEUU). 1990. Manual de forrajes Pioneer. DMU. 55 p.
- Doebley, J; Stec, A. 1993. Inheritance of the Morphological Differences Between Maize and Teosinte: Comparison of Results for Two F2 Populations. *Genetics Society of America*, Número 134. University of Minnesota, Minnesota, EEUU.
- Elizondo, J. 2011. Influencia de la variedad y altura de cosecha sobre el rendimiento y valor nutritivo de maíz para ensilaje. *Revista Agronomía Costarricense*. 35(2): 105-111.

- Espinosa, J. 1999. Acidez y encalado de los suelos. International Plant Nutrition Institute. Primera Edición. Quito, Ecuador.
- Faggi, D. 2000. Algunas prácticas de manejo para incrementar la calidad de ensilaje de maíz. Universidad de Chapingo, México. Consultado el 10 feb. 2017. Disponible en http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R89/R89_36.htm
- Fernández, M. 2007. El TLC y la ganadería (Pensamiento solidario). Alajuela. Costa Rica. Consultado 4 jun. 2015. Disponible en www.ts.ucr.ac.cr/html/tlc/ts-tlc-009-ganaderia.doc
- FOSS NIRSYSTEMS.1999. Manual Software WINISI. Foss Nirsystems.
- Gallardo, M. 2013. Valor nutritivo de los cultivos de maíz y sorgo para ensilar bajo estrés. Catalogo Mercaláctea. San Francisco. Cordoba. Argentina.
- García, W; Pezo, D; San Martín, F; Olazabal, J; Franco, F. 2005. Manual del técnico alpaquero. ITDG. Cusco. Perú. 57 p.
- Goering, H., Van Soest, P. 1970. Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications). Agricultural Handbook N° 379. ARS-USDA, Washington, D.C. Estados Unidos. 76 p.
- Gutierrez, L.; Santini, F.; Van Olphen, P; Viviani, E. 2000. Efectos del momento y altura de corte sobre la producción y calidad de la materia seca de maíz para silaje. **In XVI** Reunión Latinoamericana de Producción Animal. Montevideo, Uruguay. 2p.
- Holguín, V; Ibrahim, M; Mora, J; Rojas; A. 2003. Caracterización de sistemas de manejo nutricional en ganaderías de doble propósito de la región Pacífico Central de Costa Rica. Agroforestería en las Américas. 10 (39-40): 40-46 p.
- IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.

INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, CR). 2015. Censo Agropecuario Nacional 2014. Consultado el 10 de ene. 2016. Disponible en: <http://www.inec.go.cr/Web/Home/GeneradorPagina.asp>

INFOAGRO (Información Técnica Agrícola de Chile, CH).2010. Portal Agrícola Chileno. Cultivo de Maíz. Morfología y Taxonomía. Santiago. CH. Consultado el 10 de feb. 2017. Disponible en: <http://www.abcago.com/herbaceos/cereales/maiz.asp#MORFOLOGIAYTAXONOMIA>

INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, URU). 1994. Momento de cosecha de maíz para ensilar. Boletín de divulgación N°43 1994.

I.M.N. 2015. Instituto Meteorológico Nacional. Datos Climáticos. Estación Experimental Finca Santa Lucía de Barva. Universidad Nacional. Costa Rica. Período 1982-2015.

León, C. 1980. Efecto de la defoliación en maíz (*Zea mays*) para la alimentación animal. Tesis Lic. Centro Universitario del Atlántico, Universidad de Costa Rica. 81 p.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). 2015. Biblioteca Virtual MAG. San José, CR. Consultado 10 dic. 2016. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00368.pdf>

Medina, P. 2010. Evaluación del comportamiento agronómico del híbrido de maiz (*Zea mays* L.) DK 7088. Tesis Lic. Vinces, Guayaquil, Ecuador. Universidad de Guayaquil. 40p.

Melgar, R. 2009. Fertilización del maíz para silaje. La eficiencia de la fertilización. Revista Fertilizar. N12. 4 p.

Mena, F.2010. Evaluación de 4 híbridos de Maíz Forrajero (*Zea Mays L.*) en la Comuna de Futrono. Tesis Lic. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 52 p.

- Montemayor, J; Olaguer, R; Fortis, H; Sam, B; Leos, J; Salazar, S; Castruita, L; Rodríguez, J; Chacaría, J. 2007. Consumo de agua en maíz forrajero con riego subsuperficial. *Revista Terra Latinoamericana*. 25(2):163-168 p.
- Molina, E; Meléndez, G. 2002. Tabla de investigación de análisis de suelos. Centro de Investigación Agronómicas. Universidad de Costa Rica. 8 p.
- Monterroso, R., De León, C. 2008. El cultivo del maíz temas selectos. Editorial Mundi-Prensa. Distrito Federal, México. 5-7 p.
- MMSS (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social). 2017. Lista de Salarios (online). Consultado 10 nov. 2017. Disponible en <http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/lista-salarios.html>
- Núñez, H; González, C; Martín Del Campo, V. 1994. Efecto de la densidad de plantas en la producción y calidad de maíz en híbridos de hojas erectas para ensilaje. *Avances de investigación agropecuario*. 3(1):25-30 p.
- Núñez, H; Contreras, F; Faz, G. 2003. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con un alto valor energético. *Revista Téc. Pecuaria*. México. 41:37-48 p.
- Núñez, G; Faz, R; González, F; Peña, A. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad de forraje. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 43(1): 69-70 p.
- Palacio, V. 2014. Comparación Agronómica de 12 híbridos de Maíz de alto potencial forrajero con un testigo regional. Tesis Ing. Torreón Coahuila, MEX. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 49 p.
- Parsi, J; Godio, L; Miazzo, R; Maffioli, R; Echevarría, A; Provencal, P. 2001. Valoración nutritiva de los alimentos y Formulación de dietas. La Universidad Nacional de Río Cuarto. Cordoba, Argentina. Consultado 6 feb. 2017. Disponible en

http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/16-valoracion_nutritiva_de_los_alimentos.pdf

Pérez, E. 1999. La situación de la ganadería Centroamericana. Intensificación de la ganadería Centroamericana. Beneficios económicos y ambientales. FAO/CATIE. Costa Rica. 177-200 p.

Piccioni, M. 1970. Diccionario de alimentación animal. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 819 p.

Pordomingo, A; Azcaráte, M; Juan, N. 2000. Valor Nutritivo de forrajes, granos y suplementos disponibles en la región de influencia del INTA Aguil. Consultado 5 dic. 2016. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/06-inta_anguil.pdf

Productora de Semillas, Gua. 2017. Maíz HR-Oro. Guatemala. Consultado 10 set. 2017. Disponible en <http://www.productoradesemillas.com/Artecnicos/granos%20basicos/HR-ORO.pdf>

Quirós, E. 2009. Recomendaciones para enfrentar el impacto de la sequía en la ganadería. CORFOGA. Costa Rica. Consultado el 1 jun. 2015. Disponible en http://www.corfoga.org/images/public/documentos/pdf/recomendaciones_ante_sequia.pdf

Ramírez, E; Catani, P; Ruiz, S. 1999. La importancia de la calidad del forraje y el silaje. Actualización Técnica N° 2, INTA PROPEFO. Argentina. Consultado el 7 feb. 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/20la_%20importancia_de_la_calidad_del_forraje_y_el_silaje.pdf

- Ramírez, J; Herrera, R; Leonard, I; Verdecia, D; Álvarez, Y. 2010. Rendimiento de materia seca y calidad nutritiva del pasto *Brachiaria brizantha* x *Brachairia ruziziensis* vc. Mulato en el Valle del Cauto, Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 44 (1): 65-72.
- Reta, S; Carrilla, A; Castro, M; Cueto, W. 2002. Guía para cultivar maíz forrajero en surcos estrechos. CELALA-INIFAP. Matamoros, Coahuila, México. 24 p.
- Rodríguez, M; Mancuso, W; Lancio, R. 2012. Estimación del costo de implantación y protección de los verdeos de Verano Moha, Sorgo forrajero y Soja en entre ríos. INTA Paraná. Argentina. Consultado 10 Set. 2017. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_costos_pasturas_verano.pdf
- Romero, L., Aronna, S. 2004. Siembra de maíz para ensilaje. INTA Rafaela. Santa Fe. Argentina. Consultado 5 agos. 2015. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/26-siembra_de_maiz_para_silaje.pdf
- Romero, L. 2004. Silaje de maíz. INTA Rafaela. Santa Fe. Argentina. Consultado 2 Feb. 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/05-silaje_maiz.pdf
- Romero, L. 2005. Maíz para el silo, momento del corte. INTA Rafaela. Santa Fe. Argentina. Consultado 30 agos. 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/66maiz_para_silo_momento_corte.pdf

- Romero, L; Mattera, J. 2010. Híbridos de maíz para silaje en dos épocas de siembra. Comparaciones productivas. INTA Rafaela. Santa Fe. Argentina. Consultado 2 Feb. 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/maiz_sorgo/09-2010_hibridos_maiz_silaje.pdf
- Ruiz, O; Beltrán, R; Salvador, F; Rubio, H; Grado, A; Castillo, Y. 2006. Valor nutritivo y rendimiento forrajero de híbridos de maíz para ensilaje. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 40 (1): 91-96.
- Sánchez, C; Oliviera, A. 1973. Producción de materia seca y estimación del potencial fotosintético mediante la defoliación artificial en maíz. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Reunión de maiceros de la Zona Andina. p. 45-55.
- Sánchez, M; Ubaldo, A; Valenzuela, N; Sanchez, C; Concepcio, M; Villanueva, C. 2011. Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. Agronomía Mesoamericana. 22 (2): 281-295.
- Sánchez, W. 2014. Convocatoria FITTACORI para financiamiento de proyectos en el 2015. Evaluar el potencial forrajero y de ensilabilidad de seis variedades de maíz costarricense. INTA. Costa Rica. 12-23 p.
- Semillas Magna, Ven. 2017. Maíz HR-960-S. Caracas, Venezuela. Consultado 10 set. 2017. Disponible en <http://www.semillasmagna.com/productos/cereales/ma%C3%ADz-hr-960-s-20kgs-lb-1-detail>
- Scheneiter, O; Carrete, J. 2004. Aspectos agronómicos del maíz para silaje. Revista Idia XXI. 4 (6): 134-140.
- Sierra, J.O. 2005. Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajes. Editorial Universidad de Antioquia. 2da edición. Medellín, Colombia. 246 pp.

- Smith, V; Ennos, A. 2003. The effects of air flow and stem flexure on the mechanical and hydraulic properties of the stems of sunflowers *Helianthus annuus*. L. J. Exp. Botanic. 54:845-849.
- Soto, P; Jahn, E. 1983. Época de cosecha y acumulación de materia seca en maíz para ensilaje. Agricultura Técnica. 43(2):133-138.
- Steinberg, M., Valdez, J., Coraglio, A., Viera, C; Minuzzi, P. 2012. Producción y calidad del forraje diferido de *Panicum coloratum* L. en dos periodos de diferimiento y tres momentos de defoliación. Revista Agriscientia. 29 (1): 1- 6 p.
- Toledo, J., Schultze, R. 1982. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. In: Manual para la evaluación agronómica. Red Internacional de evaluación de pastos tropicales. Cali, Colombia. 91-109 p
- Torrens, B; Ventimiglia, L. 2014. Maíz: Efecto del genotipo, la densidad de siembra y el espaciamiento entre hileras, en la producción de forraje y grano, en siembras tempranas.
- Tosi, J. 1969. Mapa ecológico de la República de Costa Rica, según la clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge. Centro Cientifico Tropical, Costa Rica.
- TropSoils. 1991. Managing Soil Acidity. Groundworks 1. North Carolina State University. Raleigh, NC. 28 pp.
- Van Soest, P. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Second Edition. Cornell University. New York. EEUU.
- Vergara, N., Ramirez, A., Sierra, M y Cordoba, H. 2002. Comportamiento de cruza simples y aptitud combinatoria de líneas tropicales de maíz de grano blanco. Memoria de la

XLVIII Reunión anual del programa cooperativo centroamericano para el mejoramiento de cultivos y animales. República Dominicana. 52 p.

Villalobos, L; Arce, J; Wingching, R. 2013. Producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. Revista Agronomía Costarricense. 37(2): 91-103.

Villalobos, L; Arce, J; Wingching, R. 2015. Costos de producción de ensilados de pastos tropicales elaborados en lecherías de Costa Rica. Revista Nutrición Animal Tropical. 9(2): 27-48.

Wang-Yeong, CH; Lee-Mian, L; Cheng, W; Wang, Y.C; Lee, M; Cheng, W. 1995. Effect of planting density and nitrogen application rates on growth characteristics, grass yield and quality of forage maize. Journal of Taiwan Livestock Research 28(2): 125-132

Weiss, B. 2014. Forage evaluation: Wading through a sea of numbers. Ohio State University. Consultado 8 feb. 2017. Disponible en <http://www.dairyherd.com/dairy-news/Forage-evaluation-Wading-through-a-sea-of-numbers-259091251.html>

Zambrano, F; Villatoñe, R; Figueroa, R. 2003. Efecto de la profundidad del nivel freático sobre la producción de tomate en un suelo franco arenoso y bajo condiciones de invernadero. Agronomía Tropical. Maracay. 53 (4): 22-31.

ANEXOS

Anexo 1. Cálculos de fertilización, según dosis recomendada.

Fertilización en Finca Santa Lucía, Maíz Forrajero:

Dosis recomendada por Ha (Bonilla 2009a)

100 kg de Nitrógeno

60 kg de Fosforo

40 kg de Potasio

Fuentes:

10-30-10 (10 N, 30 P, 10 K)

Urea (46%)

Kamac (22 k, 18 Mg)

Calculos:

Fosforo: (10-30-10)

Aplicación 34 kg por Ha

Conversión a Fertilizante

$P_2 \rightarrow P_2O_5$

Peso atómico = $\frac{P_2O_5}{P_2} = \frac{(31g \times 2) + (16g \times 5)}{31g \times 2} = 2.29$ factor de conversión de $P_2 \rightarrow P_2O_5$

$P_2 \qquad 31g \times 2$

60 kg de P x 2.29 = kg de P_2O_5 = **137.4 kg P_2O_5**

Eficiencia del fosforo en suelos Andisoles: 100%

Fuente de fertilizante

10-30-10 (39% P_2O_5) , (10% N) y (10% K_2O)

100 kg (10-30-10) \rightarrow 30 kg P_2O_5

X \rightarrow 137.4 kg P_2O_5

X = **458 kg de 10-30-10/ Ha**

Aporte de nitrógeno del 10-30-10

100 kg (10-30-10) → 10 kg N

458 kg (10-30-10) → X kg N

$$X = \boxed{45,8 \text{ kg de N}}$$

Aporte de K₂O del 10-30-10

100 kg (10-30-10) → 10 kg K₂O

458 kg (10-30-10) → X kg K₂O

$$X = \boxed{45,8 \text{ kg de K}_2\text{O}}$$

Nitrógeno: (Urea 46%)**Aplicación 100 kg N por Ha**

Eficiencia del nitrógeno en suelos Andisoles: 55%

$N = (\text{Aplicación}) / \text{eficiencia}$

$$N = (100) / 0,55$$

$$N = 181,81 \text{ kg N/ Ha}$$

181,81 kg de N – aporte del 10-30-10

181,81 kg de N – 45,8 kg N (10-30-10) = 136,01 kg de N (FALTANTE)

Fuente de fertilizante**(Urea 46% de N)**

100 kg (Urea 46%) → 46 kg N

X → 136,01 kg N

$$X = \boxed{295,67 \text{ kg de Urea / Ha}}$$

Potasio:**Aplicación 40 kg por Ha**

Conversión a Fertilizante

$$\text{Peso atómico} = \frac{\mathbf{K_2O}}{\mathbf{P_2}} = \frac{(39\text{g} \times 2) + 16\text{g}}{39\text{g} \times 2} = 1.21 \text{ factor de conversión de } \mathbf{K_2} \rightarrow \mathbf{K_2O}$$

$$40 \text{ kg K} \times 1.21 = \text{kg de } \mathbf{K_2O} = 48.4 \text{ kg de } \mathbf{K_2O}$$

Eficiencia del potasio en suelos Andisoles: 80%

$$N = (\text{Aplicación}) / \text{eficiencia}$$

$$N = (48,4) / 0.80$$

$$N = 60.5 \text{ kg } \mathbf{K_2O} / \text{Ha}$$

60.5 kg de $\mathbf{K_2O}$ – aporte del 10-30-10

60.5 kg de $\mathbf{K_2O}$ – 45.8 kg $\mathbf{K_2O}$ (10-30-10) = 14.7 kg de $\mathbf{K_2O}$ (FALTANTE)

Fuente de fertilizante

Kamac (22% $\mathbf{K_2O}$)

$$100 \text{ kg (Kamac)} \rightarrow 22 \text{ kg } \mathbf{K_2O}$$

$$X \rightarrow 14.7 \text{ kg } \mathbf{K_2O}$$

$$X = \boxed{66.82 \text{ kg de Kamac / H}}$$