

Universidad de Costa Rica  
Facultad de Ciencias Agroalimentarias  
Escuela de Zootecnia

Caracterización nutricional y fermentativa de mezclas ensiladas de corona de piña (*Ananas comosus*) con guineo cuadrado (*Musa sp.*) para la alimentación de rumiantes.

Gerson José Lazo Salas

Tesis presentada para optar por el título de Licenciado en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2017

Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciado.

_____	Ing. Augusto Rojas Bourrillon, M.Sc.
Director de Tesis	
_____	Ing. Carlos Campos Granados, Lic.
Miembro del Tribunal	
_____	Ing. Luis Villalobos Villalobos, Ph.D.
Miembro del Tribunal	
_____	Ing. Michael López Herrera, M.Sc.
Miembro del Tribunal	
_____	Ing. Luis Pineda Cordero, M.Sc.
Miembro del Tribunal	
_____	Ing. Gerson José Lazo Salas, Bach.
Sustentante	

## **DEDICATORIA**

Dedico la culminación de este trabajo a esa pequeñísima fracción del tiempo y el espacio, que se condensa en forma de vida y luego de un milagroso proceso tomo conciencia, permitiendo mi existencia y la de toda la humanidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres José y Flor de Liz, por darme la vida, el apoyo y aún más, por el gran ejemplo de perseverancia, disciplina y esfuerzo que me permitió lograr este triunfo.

A los miembros del tribunal evaluador, por sus sabios consejos y por estar siempre dispuestos a atender mis consultas.

Al personal del Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, por su disposición y colaboración.

A mis amigos (que no cito por temor a olvidarme de alguno) y hermanos, pero que sepan que su amistad fue como un oasis al que recurrí en momentos de ansiedad y desesperación.

Y finalmente pero no menos importante, sino, todo lo contrario... A Susana Arguedas que fue mi gran apoyo, mi gran amor y mi más grande fuente de inspiración. Lo logré.

<https://www.youtube.com/watch?v=nZIGlaaV8Ik>

<https://youtu.be/nZIGlaaV8Ik>

## ÍNDICE GENERAL

TRIBUNAL EVALUADOR .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE GENERAL .....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xi
RESUMEN .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
1. La piña en la producción animal .....	3
2. Uso de musáceas en la alimentación animal .....	4
3. El proceso de ensilaje .....	8
4. La fermentación .....	8
i. Fase 1. Aeróbica o respiración .....	9
ii. Fase 2. Fermentación .....	10
iii. Fase 3. Estable .....	10
iv. Fase 4. Deterioro aeróbico .....	11
5. Indicadores de calidad del ensilado .....	11
6. Aditivos para ensilajes .....	14
OBJETIVOS .....	16
MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
1. Preparación de los silos .....	17
2. Muestreo .....	18
3. Análisis de laboratorio .....	19
4. Costo de elaboración de los ensilados .....	20
5. Análisis de la información .....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	22
1. Composición nutricional, fraccionamiento energético y de la fibra, de las materias primas y las mezclas previo al proceso de ensilaje. ....	22
2. Características organolépticas de los ensilados .....	26

a. Color.....	27
b. Olor.....	28
c. Textura .....	28
3. Características fermentativas de las mezclas ensiladas. ....	29
a. Materia Seca (MS).....	29
b. Nitrógeno amoniacal como porcentaje del nitrógeno total (NH <sub>3</sub> /NT) .....	31
c. pH .....	32
d. Capacidad Buffer.....	33
f. Ácidos Orgánicos.....	34
4. Componentes de la pared celular .....	37
a. Fibra detergente neutro (FDN) y su digestibilidad in vitro (DIVFDN). .....	38
b. Fibra detergente ácido (FDA) y lignina.....	40
c. Pectinas .....	41
5. Características nutricionales de los ensilados de rastrojos de piña ....	43
a. Almidón.....	43
b. Carbohidratos no fibrosos (CNF).....	45
c. Proteína cruda (PC).....	46
d. Extracto etéreo (EE).....	47
e. Cenizas.....	48
f. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) .....	50
6. Estimación del valor energético de las mezclas ensiladas de corona de piña con cuatro niveles de guineo cuadrado. ....	52
7. Estimación del costo de elaboración de ensilados de corona de piña con cuatro niveles de sustitución de guineo cuadrado y comparación con el ensilado de maíz. ....	55
CONCLUSIONES .....	59
RECOMENDACIONES .....	61
LITERATURA CITADA.....	62
ANEXOS .....	78

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
1. Composición nutricional de la planta de la piña según la parte analizada. ....	4
2. Composición de frutos de musáceas en estado inmaduro. ....	5
3. Contenido de almidón total y resistente en algunas variedades de frutas, leguminosas y tubérculos del sureste de México. ....	7
4. Indicadores químicos de la calidad del proceso fermentativo en ensilajes de leguminosas y maíz de alta humedad (MAD). ....	12
5. Parámetros organolépticos para la determinación de la calidad. ....	13
6. Categorías de los aditivos para ensilajes. ....	15
7. Composición nutricional de la corona de piña y el guineo cuadrado (Musa acuminata x balbisiana, Grupo ABB) utilizados en los ensilados. ....	19
8. Composición nutricional de la corona de piña, el guineo cuadrado y sus mezclas previo al proceso de ensilaje. ....	22
9. Fraccionamiento de la fibra de la corona de piña, el guineo cuadrado y sus mezclas previo al proceso de ensilaje. ....	24
10. Fraccionamiento de la fibra de la corona de piña, el guineo cuadrado y sus mezclas previo al proceso de ensilaje. ....	25
11. Evaluación organoléptica de mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado. ....	26
12. Características fermentativas de las mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado. ....	29
13. Contenido de ácidos orgánicos en las mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado. ....	34
14. Fraccionamiento de la fibra en mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado. ....	37
15. Composición nutricional de mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado. ....	43
16. Fraccionamiento energético de las mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado. ....	52
17. Valor energético en base seca de algunos ensilados. ....	54

<b>18.</b> Desglose de costos unitarios de los aspectos necesarios para la elaboración de ensilado corona de piña con guineo cuadrado. ....	55
<b>19.</b> Costos para la elaboración de ensilados de corona de piña con cuatro niveles de sustitución de guineo cuadrado. ....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Proceso de elaboración del ensilado. A) Separación de dedos. B) Picado. C) Guineo picado. D) y F) Mezclado del guineo con la corona de piña. G) Producto embolsado.....	18
2. Productos post fermentación. A) Tratamiento 1 (100:0). B) Tratamiento 2 (85:15). C) Tratamiento 3 (70:30). D) Tratamiento 4 (55:45). F) Ensilado descompuesto.....	27
3. Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el contenido de materia seca de los ensilados. ....	30
4. Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre la capacidad buffer de los ensilados.....	33
5. Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el contenido de ácidos orgánicos de los ensilados. ....	36
6. Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de FDN y el de DIVFDN de los ensilados.....	39
7. Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de FDA y el de lignina. ....	41
8. Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de pectinas de los ensilados. ....	42
9. Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de almidón total de los ensilados. ....	44
10. Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de CNF de los ensilados.....	45
11. Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de PC de los ensilados.....	46
12. Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de cenizas de los ensilados.....	49
13. Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de DIVMS en los ensilados. ....	50

<b>14.</b> Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de TND de los ensilados.....	53
<b>15.</b> Aceptación de los ensilados por las vacas .....	54
<b>16.</b> Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el costo de cada uno de los tratamientos y su comparación con un ensilado de maíz. ....	57

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
1. Evaluación organoléptica de todas las mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado. ....	78
2. Composición nutricional de todas las repeticiones de mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.....	79
3. Fraccionamiento de la fibra de todas las repeticiones de mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.....	80
4. Características fermentativas de todas las repeticiones de mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.....	81
5. Contenido de ácidos orgánicos en todas las mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado. ....	82
6. Fraccionamiento energético de todas las repeticiones de mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.....	83
7. Calificación general de las mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado, según criterios zootécnicos. ....	84

## RESUMEN

Esta investigación se realizó con el objetivo de determinar y analizar las características nutricionales, fermentativas y el costo de ensilados de corona de piña con cuatro niveles de sustitución de guineo cuadrado. Se realizaron cuatro tratamientos con cinco repeticiones; las mezclas de corona de piña y guineo cuadrado verde fueron hechas en relación 100:0 (1), 85:15 (2), 70:30 (3) y 55:45 (4) respectivamente. Los análisis se realizaron en los laboratorios de bromatología y química del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica. Se encontró un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) en los contenidos de materia seca, digestibilidad *in vitro* de la materia seca, lignina, pectinas, almidón, carbohidratos no fibrosos y total de nutrientes digestibles conforme se aumentó el nivel de sustitución de guineo cuadrado. Los contenidos de ácido acético, ácido propiónico, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, proteína cruda, cenizas y la capacidad buffer, disminuyeron significativamente ( $p < 0,05$ ) conforme se aumentó el nivel de sustitución de guineo cuadrado. No se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para los contenidos de nitrógeno amoniacal, ácido isobutírico, ácido butírico, ácido láctico, extracto etéreo ni para el pH entre las cuatro mezclas evaluadas. Los ensilados de corona de piña con guineo cuadrado son una opción para eliminar los desechos de las piñeras que son un problema de salud pública, además, al tener un alto contenido energético y un bajo costo de producción son una opción económicamente viable para la alimentación de rumiantes.

## INTRODUCCIÓN

Según datos de la FAO (2016) más de un billón de personas dependen del sector ganadero. Esto evidencia la importancia de estudiar los factores más limitantes en la producción ganadera; como la alimentación, que representa el rubro más alto en los costos de producción y una preocupación constante en cuanto a disponibilidad durante el año (Rojas-Bourrillon 2006).

Las pasturas son un componente importante en la alimentación de rumiantes y en el trópico estas están dominadas por gramíneas (Birbe et al. 2006). La digestibilidad y el contenido de energía son bajos en las pasturas tropicales, aunado a la existencia de periodos de escasez de agua, generan una baja productividad en los animales (Sánchez y Ledin 2006).

Por lo tanto, se deben diseñar estrategias de alimentación menos vulnerables a las condiciones ambientales (como largos periodos de sequía o de lluvia), que aporten la cantidad y calidad suficiente de nutrimentos al mínimo costo (Tobía y Vargas 2000). La técnica del ensilaje asegura la disponibilidad del recurso alimenticio durante todo el año en sistemas de producción de rumiantes, además al ser aplicable a diversos materiales vegetativos, su utilidad y su fácil implementación por parte de los productores surge como una opción viable (Titterton y Bareeba 2001).

Por otra parte, la piña es la tercera fruta tropical de importancia económica en el mundo, después del banano y el melón (Adegbite et al. 2014), siendo Filipinas, Brasil, Costa Rica, Tailandia y China los principales países productores, representando el 55% de la producción mundial. Vinculado al crecimiento de producción de piña a nivel nacional, se ha dado un incremento en la cantidad de subproductos que se obtienen de su cultivo e industrialización, como la planta entera, las coronas, los tallos, las cáscaras, los rastrojos (plantas sin raíces), la pulpa y el corazón (López-Herrera et al. 2014).

Diversas investigaciones han sido realizadas con subproductos del cultivo de la piña, las cuales demuestran que poseen una composición nutricional similar a forrajes empleados en sistemas ganaderos y que pueden ser conservados por medio de la técnica del ensilaje para su posterior utilización (Gutiérrez et al. 2003; López-Herrera et al. 2009; Rodríguez et al. 2014). Además se establecería una solución al problema ambiental que podría generar su eliminación de las fincas productoras y plantas procesadoras.

Por otro lado, se encuentra la gran versatilidad de las plantas del género *Musa*, estas en Costa Rica tienen una amplia distribución, no presentan estacionalidad y pueden ser ofrecidas las plantas completas (tallos, hojas y fruto), en cualquier momento del año para la alimentación de los animales (Izquierdo 2009). La presente investigación, determinó el contenido nutricional, las características fermentativas y el costo de elaboración de ensilajes de corona de piña (*Ananas comosus*) con la inclusión de guineo cuadrado (*Musa sp*) como fuente de energía, para la alimentación de rumiantes.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### 1. La piña en la producción animal

De acuerdo a las estadísticas de la Comisión Europea (2017), en el año 2006 Costa Rica tenía un 39% de participación en las importaciones de piña hechas por la unión europea, sin embargo, para el año 2016 dicha participación ascendía al 52%, superando los 500 millones de euros. Esta circunstancia ha provocado un incremento en la producción de este cultivo, estableciéndose como una alternativa de diversificación agrícola y una importante fuente de divisas. Según lo indicado por Barquero (2007) se ha dado un aumento de las áreas de producción de piña, que pasaron de 12.500 ha en el año 2000 a 40.000 ha en el año 2007; sin embargo, para el año 2015 se estimó un área total de 37.660 ha, lo que revela que la expansión del cultivo se ha detenido en los últimos años (INEC 2015).

A raíz del incremento en el área cultivada de piña se da una mayor producción de desechos, estos representan un aumento en los costos de producción y un posible sustrato para el desarrollo de la mosca pañera (*Stomoxys calcitrans*), ya que, durante la descomposición de estos desechos, se genera calor, alta humedad y se liberan malos olores, condiciones que permiten la reproducción de dicha mosca (Sánchez y Caraveo 1996). Los daños en la piel del ganado y problemas en el consumo de materia seca (MS) asociados a la presencia de la mosca, se reflejan en la disminución de la ganancia diaria de peso y en la producción de leche (Rojas et al. 2003).

Por otra parte, López-Herrera et al. (2009) demuestran que los rastrojos de piña pueden ser suministrados a los rumiantes tanto frescos como ensilados, pues presentan niveles intermedios de nutrimentos comparados a los pastos frescos y a los ensilados utilizados en la alimentación de rumiantes. Igualmente, Elizondo-Salazar y Campos-Granados (2014) indican que la cáscara de piña puede ensilarse sola, con urea y/o heno sin que se afecte significativamente los componentes nutricionales más importantes.

Aunado a lo anterior, por cada hectárea de piña cosechada se producen entre 200 y 250 toneladas de material verde (planta entera) (López-Herrera et al. 2014). Asimismo, las coronas del fruto representan entre el 9 y 11% del peso fresco del fruto (190 – 260 g) esto según densidad de siembra y el cultivar, razones por las que se puede considerar una buena opción alimenticia para el ganado (Rebolledo et al. 2006).

Algunas de las características nutricionales de los subproductos de la piña, se hacen comparables con forrajes de buena calidad, principalmente en los contenidos de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y de carbohidratos no fibrosos (CNF) (Rojas-Bourrillon 2011). A pesar de que, la mayoría de subproductos de la piña tienen un alto contenido de energía en términos de nutrimentos digestibles totales (>59%), su bajo contenido de MS (<11%) y proteína cruda (<7,5%), hacen que su utilización como sustituto de forraje deba ser parcial (López-Herrera et al. 2009). En el Cuadro 1, se detalla la composición nutricional de las diferentes partes de la piña.

**Cuadro 1.** Composición nutricional de la planta de la piña según la parte analizada.

Parte de la planta	MS (%)	PC	FDN	FDA	CNF	Cenizas	TDN	EN <sub>L</sub> Mcal*
Planta entera	25,2	7,6	60,8	34,7	21,9	7,3	63,8	1,39
Rastrojo	15,0	10,1	53,4	32,6	24,7	9,5	62,8	1,37
Corona	17,0	11,0	59,3	35,5	22,8	7,9	66,6	1,44
Pulpa	51,9	5,9	53,2	23,7	12,2	3,0	-	-
Cáscara	26,6	6,9	54,8	20,8	37,5	5,2	59,2	1,31

MS= materia seca, PC= proteína cruda, FDN= fibra detergente neutro, FDA= fibra detergente ácida, CNF= carbohidratos no fibrosos, TDN= total nutrientes digestibles, ENL= energía neta para lactancia. \*(Mcal/kg MS) (3X)

Tomado y adaptado de López-Herrera et al. (2014).

## 2. Uso de musáceas en la alimentación animal

En Costa Rica se han alcanzado hasta 200.000 toneladas métricas (15% a 20% de la producción total) de musáceas de rechazo por año. Este se destina a la alimentación animal, por lo que se considera un material de alta disponibilidad (Herrera 2002).

Las musáceas como el guineo cuadrado pertenecen al orden de las zingiberales, originarias de las especies silvestres *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*, con las que se realizaron los diferentes clones o cultivares actuales, los cuales, se encuentran divididos en dos grandes grupos: los que solo tienen un genoma acuminata (A), que comprenden los diploides (AA) y los triploides (banano postre) (AAA) y los que tienen genomas acuminata (A) y balbisiana (B), como los triploides de predominancia acuminata (plátanos) (AAB) y los triploides de predominancia balbisiana (guineos) (ABB) (Herrera 2012).

Garcés (2004), menciona que los frutos de las musáceas contienen altos niveles de energía y un bajo nivel proteico. Debido a esto, son consideradas como uno de los alimentos energéticos de mayor importancia a nivel mundial; del mismo modo, poseen un alto porcentaje de agua característica que los hace muy voluminosos (Izquierdo 2009). En el Cuadro 2, se muestra la composición de algunas especies de musáceas que se emplean en la alimentación de rumiantes.

**Cuadro 2.** Composición de frutos de musáceas en estado inmaduro.

<b>Componente</b>	<b>Banano *</b> <b>(AAA)</b>	<b>Plátano**</b> <b>(AAB)</b>	<b>Pelipita</b> <b>(pulpa)***</b> <b>(ABB)</b>
<b>Humedad</b>	80,0	66,0	55,5
<b>Proteína cruda</b>	5,5	1,2	-
<b>Fibra cruda</b>	1,3	0,5	0,3
<b>Almidón</b>	72,3	23,3	25,5
<b>Cenizas</b>	4,0	0,8	1,0
<b>Taninos</b>	7,4	0,3	-

\*Garcés (2004); \*\*Garzón y Navas (2003); \*\*\* Granados et al. (2014).

Según Herrera (2002), el banano verde de rechazo tiene una degradabilidad ruminal de la MS de 88,7% a 91,5%, con una tasa de digestión media de 8,5 horas. Sin embargo, una inclusión superior al 19% de la MS de este material en dietas de rumiantes, se asocia con la reducción del pH a nivel ruminal; lo cual, genera una disminución de la propia digestibilidad de la MS (Pérez et al. 1990a).

Aunado a esto, las musáceas verdes contienen taninos, cuando estos se encuentran de 2 a 4% de la materia seca, mejoran la productividad secundaria y la salud animal, sin embargo, en concentraciones más elevadas su uso se limita (Otero e Hidalgo 2004), ya que los taninos tienen efectos adversos como: la disminución del consumo de alimentos y de la eficiencia digestiva, lo cual, repercute negativamente en el crecimiento y productividad del animal (Garcés 2004). Lo anterior sucede debido a que los taninos interactúan con las glicoproteínas de la saliva formando complejos, lo cual provoca un efecto de astringencia y consecuentemente la palatabilidad del material disminuye, lo que afecta el consumo de MS (Solano 1997).

Por otra parte, las musáceas verdes son altas en almidón (hasta 70% de su MS) y se ha demostrado que consumos crecientes se asocian a una consistencia más líquida de las heces y en un aumento del volumen excretado (Pérez et al. 1990a). El almidón es una reserva de glúcidos y se encuentra en las semillas, los bulbos, la linfa, las raíces y los frutos de plantas como el maíz, el trigo, el arroz y la papa (Scicolone 2002). También, está organizado en partículas conocidas como gránulos cuya morfología, composición química y estructura son características para cada especie (Thompson 2000), además, se pueden transformar en compuestos más livianos como los azúcares mediante una hidrólisis enzimática (maduración) (Reyna et al. 2004). Gutiérrez et al. (2003) indican que ensilados elaborados con banano maduro presentan mermas de peso casi tres veces mayores, comparados con ensilados de banano verde, esto debido a la pérdida o degradación de los azúcares simples presentes en el banano maduro (Gutiérrez et al. 2003).

Desde un enfoque químico es una mezcla polimérica de dos tipos de moléculas, una lineal y soluble en agua llamada amilosa y otra ramificada e insoluble conocida como amilopectina. Ambas, corresponden a carbohidratos de alto peso molecular y están compuestas por D-glucosa de diferente forma y tamaño (Pacheco 2001 y Durán et al. 2005).

Por tanto, desde un punto de vista nutritivo el almidón es una fuente de carbohidratos de alto valor energético, sin embargo, una parte del almidón ingerido es resistente a la digestión enzimática a nivel intestinal, por lo que se conoce como almidón resistente (Langkilde et al. 2002). A saber, el tamaño, la forma del gránulo y la cantidad de amilosa son las propiedades con mayor influencia en la presencia de almidón resistente (Freitas y Tavares 2005 y Magalhães et al. 2005).

El almidón resistente se clasifica en cuatro fracciones: el almidón resistente tipo 1, referente al almidón físicamente inaccesible; el almidón resistente tipo 2, que son gránulos que no han sido sometidos al proceso de cocción; el almidón resistente tipo 3, es el almidón retrogradado que se forma en los alimentos que han sido cocinados y almacenados; y finalmente el almidón resistente tipo 4, el cual es elaborado por métodos químicos (Sajilata et al. 2006).

Los aportes de almidón resistente varían en relación al tipo de musáceas, por ejemplo, el plátano cuadrado ha presentado concentraciones de 55,08% y el plátano macho de 49,98% (Jiménez et al. 2011). En cambio, otras fuentes amiláceas como el maíz, presentan un contenido de almidón resistente de apenas 1,1% - 2,9% (Méndez-Montealvo et al. 2005).

**Cuadro 3.** Contenido de almidón total y resistente en algunas variedades de frutas, leguminosas y tubérculos del sureste de México.

<b>Fuente amilácea</b>	<b>Almidón total (%MS)</b>	<b>Almidón resistente (% del almidón total)</b>
Plátano cuadrado*	94,48 ± 0.95	55,08 ± 0.63
Plátano macho*	96,92 ± 1.79	49,98 ± 1.15
Mango* ( <i>Mangifera indica</i> )	94,68 ± 1.51	0,69 ± 0.41
Frijol ( <i>Phaseolus lunatus</i> L.).	97,00 ± 0.33	23,95 ± 1.20
Makal ( <i>Xanthosoma yucatanensis</i> )	96,72 ± 0.72	24,31 ± 0.14
Yuca ( <i>Manihot esculenta</i> )	94,64 ± 0.96	0

\*Frutos verdes, Tomado y adaptado de Jiménez et al. (2011)

### **3. El proceso de ensilaje**

Este proceso permite la conservación de materiales alimenticios en condiciones similares a las que fue almacenado, gracias a una fermentación anaeróbica. Aunado a esto, el ensilaje es probablemente, la única tecnología que pueda satisfacer la alta demanda de nutrientes requeridos en las explotaciones lecheras del trópico (Ojeda 1999; Ojeda 2000).

En este proceso los carbohidratos solubles (CHS) son utilizados por bacterias epífitas, que producen ácido láctico (BAL) y en menor cantidad ácido acético, dichos ácidos en condiciones anaeróbicas logran un nivel de pH en el material, que imposibilita el desarrollo de microorganismos que lo puedan descomponer (Oude et al. 2001).

Para que el proceso de ensilaje se realice de forma exitosa el material debe tener poca resistencia a las variaciones del pH (capacidad amortiguadora), lo cual depende de la composición de la planta en cuanto a proteína cruda e iones como Calcio (Ca), potasio (K) y sodio (Na). Además, se debe contar con un valor de CHS entre 6-12% sobre la MS (Mier 2009).

En el caso de materiales como los subproductos que poseen características fermentativas deficientes, se pueden asociar con materiales con características que compensen estas deficiencias o bien hacer uso de aditivos (Mühlbach 2001). De ahí que sea posible la conservación de cereales, leguminosas, subproductos y rastrojos de cultivos mediante la técnica del ensilaje (Tobía y Vargas 2000).

### **4. La fermentación**

Como se mencionó, el ensilaje es una preservación de los nutrientes del material a ensilar, gracias a los ácidos orgánicos (en mayor cantidad ácido láctico) producidos por los microorganismos durante fermentación anaeróbica (Woolford 1984). La fermentación es realizada por procesos bioquímicos de las bacterias, hongos y levaduras, al utilizar los azúcares solubles como sustrato alimenticio. Durante los primeros 2-3 días de un proceso de ensilaje, ocurre una fermentación

acética, donde se genera ácido acético por bacterias y levaduras que se alimentan en primer lugar de azúcares solubles, sin embargo, tienen la posibilidad de fermentar celulosa. Al mismo tiempo, se da una fermentación alcohólica que se puede extender hasta el día 7 de iniciado un proceso de ensilaje; en esta, las levaduras implicadas transforman los azúcares solubles en alcohol (Boschini y Elizondo 2003).

Una vez finalizado del proceso de respiración (cerca del día 3) se inicia la fermentación láctica, en donde los microorganismos del género *Lactobacillus* actúan sobre azúcares solubles, pectinas y almidones, y generan ácido láctico de forma gradual hasta el día 15, en donde se consigue el equilibrio. Por otro lado, existe la fermentación butírica que es una fermentación perjudicial, esta sucede a causa de las bacterias butíricas presentes en el suelo, que se desarrollan cuando hay oxígeno disponible; por tanto, ensilajes contaminados con tierra o mal compactados, generan ácido butírico que es indicio de un mal proceso de conservación (Boschini y Elizondo 2003).

El proceso de fermentación que se da en los ensilados se puede dividir en varias fases.

#### **i. Fase 1. Aeróbica o respiración**

En la elaboración del ensilado se compacta el material para la eliminación de la mayor cantidad de oxígeno y se sella para evitar que este ingrese de nuevo. A pesar de todo, el silo recién hecho contará aún con oxígeno y su pH se mantendrá entre 6 y 6,5; de ahí que, los procesos enzimáticos de la planta continuarán y convertirán los azúcares en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua y calor. Además, los microorganismos aerobios estrictos y aerobios facultativos como bacterias y levaduras consumirán el oxígeno atrapado (Weinberg y Muck 1996). Sin embargo, de quedar un exceso de aire en el ensilado, debido a una mala compactación, se generan temperaturas iniciales mayores a 37°C, lo cual, dificulta que se dé una fermentación óptima y por ende se compromete el valor nutricional del material ensilado (Jorgensen y Crowley 1985).

Esta fase dura pocas horas, y las condiciones anaeróbicas se deben lograr en el mínimo tiempo, esto para que no continúen los procesos que requieran de oxígeno (Tobía y Vargas 2000). Los organismos anaerobios facultativos como las enterobacterias, son indeseables porque compiten con las BAL por los azúcares disponibles y degradan las proteínas, lo cual causa una reducción del valor nutritivo del ensilaje (Garcés et al. 2004).

## **ii. Fase 2. Fermentación**

Según Wattiaux (2000) una vez que se ha consumido el oxígeno, se da una reducción en el conteo de las bacterias aeróbicas e inicia la actividad de las BAL convirtiéndose en la población predominante, siempre y cuando la fermentación se dé con éxito. Las BAL producirán ácido láctico además de otros ácidos, esto provoca la disminución del pH a valores entre 3,8 y 5,0 (Oude et al. 2001).

Cuando el forraje es demasiado húmedo y el pH no disminuye rápidamente se puede dar la activación de bacterias del genero *Clostridium*. Esta situación se debe evitar, ya que puede causar fermentación secundaria o clostridial, en donde el ácido láctico se transforma en ácido butírico y los aminoácidos en amoníaco, lo que genera aumentos en el pH, pérdida de MS, descomposición y malos olores (Weinberg y Muck 1996).

Según Jorgensen y Crowley (1985), la fermentación llega a su fin cuando se terminan de utilizar los CHS, debido a que los microorganismos inhiben su propio crecimiento por la producción de ácido láctico. Este proceso dura varios días o semanas dependiendo de las condiciones ambientales en el momento del ensilaje y de las características del material ensilado (Garcés et al. 2004).

## **iii. Fase 3. Estable**

En esta fase el pH del material ensilado llega a valores entre 3,5-4,5 lo que detiene la actividad microbiana y el material entra en una etapa de estabilización (Mangado 2006). Algunos microorganismos acidófilos sobreviven este período en estado inactivo; otros, como clostridios y bacilos sobreviven como esporas (Oude et

al. 2001). En presencia de oxígeno se podrían activar microorganismos aeróbicos como levaduras, bacterias de ácido acético, hongos y enterococos, lo que perjudica la calidad del silo ya que producirían calor y pérdidas de MS, hecho que disminuirá el valor nutricional del ensilado (Weinberg y Muck 1996).

#### **iv. Fase 4. Deterioro aeróbico**

En esta fase se da el deterioro debido a la reactivación de microorganismos aeróbicos expuestos al oxígeno, principalmente levaduras, mohos, bacilos y las bacterias del ácido acético. Esta etapa es común durante la etapa en que se da la apertura del ensilado o bien en silos dañados (Weinberg y Muck 1996).

Esta fase puede dividirse en dos; una primera debida a algunas levaduras que degradan los ácidos orgánicos que conservan el ensilado, lo que provoca un aumento en el valor de pH. Una vez generado este aumento de pH se inicia la segunda etapa del deterioro, en la que se da un aumento de la temperatura y la actividad de los microorganismos (bacilos, mohos y enterobacterias) que deterioran el ensilado (FAO 2001).

### **5. Indicadores de calidad del ensilado**

Para estimar cuanto se mantiene el valor nutritivo original y la calidad del material luego de la fermentación, se determina primero las características del material fresco (Ruiz y Ruiz 1990). Una vez finalizado el proceso de ensilaje, se evalúa la calidad mediante indicadores como: MS, nitrógeno soluble, nitrógeno amoniacal, azúcares solubles residuales, ácidos láctico, acético y butírico (De la Roza-Delgado 2005). Los valores óptimos de estos indicadores se muestran en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Indicadores químicos de la calidad del proceso fermentativo en ensilajes de leguminosas y maíz de alta humedad (MAD).

<b>Indicadores</b>	<b>Ensilaje de leguminosas (30-40% de MS)</b>	<b>Ensilaje MAD (25-30% de MS)</b>
<b>pH</b>	4,3 - 4,7	4,0 – 4-5
<b>Ácido acético, % de MS</b>	2,0 – 3,0	< 0,5
<b>Ácido propiónico, % de MS</b>	< 0,5	< 0,1
<b>Acido butírico, % de MS</b>	< 0,5	0
<b>Ácido láctico, % de MS</b>	7,0 – 8,0	0,5 – 2,0
<b>NH<sub>3</sub> / NT %</b>	< 10,0 - 15	< 10,0

NH<sub>3</sub>= Amoniaco; NT= Nitrógeno total.

Tomado y adaptado de Kung y Shaver (2001).

Además, es necesaria una evaluación organoléptica inmediata luego de abrir el ensilado, en donde, los parámetros olor, color y textura se consideran como determinantes de la calidad del producto obtenido, esto siguiendo la escala de medición del Cuadro 5 (Betancourt et al. 2005).

**Cuadro 5.** Parámetros organolépticos para la determinación de la calidad.

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>	<b>Interpretación</b>
Escala de olor	0	Fétido
	1	Fuerte olor a moho
	2	Moderado olor a moho
	3	Ligeramente olor a moho
	4	Agradable
Escala de color	0	Pardo
	1	Verde pardo
	2	Verde oscuro
	3	Verde musgo
	4	Verde pálido
Escala de textura	0	Mucílago
	1	Suave
	2	Medio
	3	Consistente
	4	Firme y consistente

4 = Excelente calidad; 3 = Buena calidad; 2 = Regular calidad;  
1 = Mala calidad; 0 = Pésima calidad.

Adaptado de Betancourt et al. (2005).

## **6. Aditivos para ensilajes**

Los aditivos son sustancias líquidas o granuladas que se emplean para corregir alguna deficiencia del material a ensilar, o bien, se pueden utilizar para acelerar el proceso de fermentación. Por ejemplo, la melaza, la pulpa de cítricos y el maíz triturado, proveen tanto materia seca como azúcares solubles que las bacterias utilizan para producir ácido láctico, por lo que se reduce el tiempo en que disminuye el pH. Aunado a esto, los materiales que contienen un bajo contenido de MS o pocos azúcares solubles para fermentar, no producen un ensilaje de buena calidad; por lo tanto, al aumentar el contenido de azúcares, ya sea agregándolos directamente o al introducir enzimas que puedan liberar azúcares presentes en el forraje, se puede inducir una buena fermentación (Garcés et al. 2004).

Existen aditivos para absorber los excesos de humedad, estos son materiales con alto contenido de MS, ricos en carbohidratos en especial almidón y fibra. En este tipo de aditivo, entre más pequeño sea el tamaño de partícula, mayor es la capacidad de absorción y la uniformización de la aplicación (Boschini y Elizondo 2003).

Por otra parte, los inóculos son otro tipo de aditivos, estos contienen bacterias vivas que al incorporarse al ensilaje pueden acelerar y mejorar el proceso del ensilaje; debido a que este tipo de bacterias representan una porción muy pequeña de la microflora natural de los cultivos forrajeros (Garcés et al. 2004).

En la actualidad, el comercio dispone de un gran número de aditivos químicos y biológicos adecuados para el ensilaje, sin embargo, elegir el aditivo apropiado es simple puesto que el modo de actuar de la mayoría está comprendido en pocas categorías (Cuadro 6). Entre aditivos de la misma categoría se manifiestan diferencias tales como la efectividad general, la adecuación para determinado tipo de forraje, y la facilidad para su manejo y aplicación, estos factores, junto al precio y la disponibilidad, determinan cual es el aditivo más conveniente para un ensilaje específico (Oude et al. 2001).

**Cuadro 6.** Categorías de los aditivos para ensilajes.

<b>Tipo de aditivo</b>	<b>Ingrediente activo típico</b>
Estimulantes de fermentación	BAL
	Azúcares (melaza)
	Enzimas
Inhibidores de fermentación	Acido fórmico*
	Ácido láctico*
	Ácidos minerales
	Nitritos
	Sulfitos
	Cloruro de sodio
Inhibidores de deterioro aeróbico	BAL
	Ácido propiónico*
	Ácido benzoico*
	Ácido sórbico*
Nutrientes	Urea
	Amoníaco
	Minerales
Absorbentes	Pulpa seca de remolacha azucarera
	Paja

\*O su sal correspondiente.

Tomado y adaptado de Oude et al. (2001)

## **OBJETIVOS**

### **General**

- Evaluar las características fermentativas y nutricionales de los ensilados de corona de piña con cuatro niveles de guineo cuadrado para su potencial uso en la alimentación de rumiantes.

### **Específicos**

- Determinar el efecto de la sustitución de cuatro niveles de guineo cuadrado sobre las características fermentativas del ensilaje de corona de piña.
- Determinar el efecto de la sustitución de cuatro niveles de guineo cuadrado sobre las características nutricionales de los ensilados de corona de piña.
- Estimar el costo de elaboración de los ensilados a partir de los materiales utilizados.
- Determinar mediante el análisis de las características fermentativas, nutricionales y el costo de elaboración, cual es el mejor nivel de sustitución de guineo cuadrado en el ensilaje de corona de piña.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. Preparación de los silos

El experimento se realizó en Finca Zapote propiedad del señor Alexander Arguello Rodríguez, ubicada en El Jácamo del cantón de Upala, provincia de Alajuela, con una temperatura anual promedio de 26°C y una precipitación total media de 2400 mm/año (Villalobos et al. 2013).

Fue realizado por medio de silos de bolsa y tuvo un diseño irrestricto al azar. Para la elaboración de estos silos fueron utilizadas bolsas plásticas de polietileno con un grosor de 0,063 mm y una capacidad de 50 kg.

Los ensilados fueron hechos con tres niveles de sustitución de corona de piña por fruto de guineo cuadrado verde bien desarrollado en relación 85:15 (2), 70:30 (3), 55:45 (4) en base fresca respectivamente, además, el tratamiento control (1) fue elaborado con 100% corona de piña para un total de 4 tratamientos; también, se utilizó como aditivo melaza al 1% con relación al peso fresco del material. Cabe destacar, que cada tratamiento contó con 5 repeticiones para un total de 20 silos.

Los dedos de guineo cuadrado tuvieron que ser desprendidos de forma manual del pinzote y picados con la cáscara a un tamaño de 2-4 cm en una picadora eléctrica para pasto, por otra parte, las coronas de piña fueron entregadas por la empresa que las produce ya picadas, con un tamaño de partícula de 5-10 cm. A continuación, el material fue mezclado de forma manual y depositado en las bolsas, al mismo tiempo se extraía el aire mediante compactación física (pisoteo); al finalizar el llenado de las bolsas se incluyó un sello de sal en el área de cerrado de la bolsa. Posterior a esto, las bolsas se cerraron con mecate tipo "piola" y se colocaron en un lugar donde estuvieron protegidas del sol, lluvia, animales y de cualquier práctica de rutina de la finca que pudiera perjudicar el proceso de ensilaje.



**Figura 1.** Proceso de elaboración del ensilado. A) Separación de dedos. B) Picado. C) Guineo picado. D) y F) Mezclado del guineo con la corona de piña. G) Producto embolsado.

## 2. Muestreo

En el día 0 (sin fermentar) se tomaron muestras de cada tratamiento y de las materias primas con las que fueron realizados los ensilados. Después de 70 días de fermentación se realizó la apertura de los silos y se muestrearon todos los tratamientos y repeticiones. Al mismo tiempo, se determinó las características organolépticas del material ensilado, para ello se utilizaron los indicadores planteados por Betancourt et al. (2005) para color, olor, textura y grado de humedad. En el Cuadro 7 se muestra la composición nutricional de las materias primas utilizadas.

**Cuadro 7.** Composición nutricional de la corona de piña y el guineo cuadrado (*Musa acuminata* x *balbisiana*, Grupo ABB) utilizados en los ensilados.

<b>Característica</b>	<b>Corona de piña</b>	<b>Guineo cuadrado</b>
MS (%)	9,1	20,8
DIVMS (%)	80,6	93,6
PC (%)	12,1	4,4
EE (%)	2,9	2,1
Cenizas (%)	8,8	4,6
FDN (%)	57,5	14,5
FDA (%)	32,5	9,1
NIDA (%)	0,2	0,3
NIDN (%)	0,5	0,3
Lig (%)	2,5	3,9
CNF (%)	21,9	76,7
TDN (%)	63,5	76,6
ED (Mcal/kg)	2,8	3,4
EM (Mcal/kg)	2,4	3,0
EN <sub>L</sub> (Mcal/kg)	1,4	1,8
EN <sub>M</sub> (Mcal/kg)	1,5	2,0
EN <sub>G</sub> (Mcal/kg)	0,9	1,3

DIVMS= Digestibilidad in vitro de la materia seca. EE= Extracto etéreo. NIDA= Nitrógeno insoluble en detergente ácido. NIDN= Nitrógeno insoluble en detergente neutro. Lig= Lignina. ED= Energía digestible. EM= Energía metabolizable. EN<sub>M</sub>= Energía neta de mantenimiento. EN<sub>G</sub>= Energía neta de ganancia

### **3. Análisis de laboratorio**

Una vez tomadas las muestras, estas fueron ingresadas en el Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA), para realizarles los respectivos análisis de MS, proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y cenizas (AOAC 1998). Asimismo, el fraccionamiento de la energía, el contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF), y el de nutrientes digestibles totales (NDT) fueron estimados con las ecuaciones propuestas por el NRC (2001). También, se determinó el contenido total de almidón

esto mediante el método del AOAC (1996), sin embargo, se realizó una modificación a este, debido a que fue hecho para la estimación de almidón en cereales, por lo que fue necesario aplicar una solución amortiguadora al inicio del ensayo, ya que la enzima no puede actuar a un pH tan bajo como los presentes en los ensilados.

Por otro lado, los análisis de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina se realizaron según la metodología descrita por Van Soest et al. (1991). Además, se realizó la determinación de nitrógeno insoluble en detergente neutro (NIDN) y nitrógeno insoluble en detergente ácido (NIDA), para ello, fue utilizada la metodología de Licitra et al. (1996); asimismo, se determinó el contenido de pectinas (Loyola et al. 2013). La digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (DIVFDN), fue determinada según la metodología de Ankom Technology (2004).

Con respecto a los ácidos grasos volátiles (AGV) (ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, ácido isobutírico y ácido láctico), estos fueron determinados según la metodología descrita por Ewen (2011), esto por medio de cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC), utilizando una columna Hi-Plex H, de la marca Agilent. Por otra parte, el nitrógeno amoniacal se determinó mediante la metodología empleada por Tobía et al. (2004). En el caso de la capacidad buffer se determinó mediante la metodología de McDonald y Henderson (1962), al mismo tiempo se realizó la determinación del pH según la metodología de la AOAC (2012), haciendo uso de un potenciómetro con electrodo de hidrógeno.

#### **4. Costo de elaboración de los ensilados**

En la estimación del costo de los ensilados, el precio de la corona de piña corresponde al coste de acarreo desde la finca piñera hasta el lugar donde se realizó el ensilado. En el caso del guineo cuadrado, se hizo uso de un precio menor al que lo venden los productores para consumo humano, debido, a que en el periodo de abundancia de guineo cuadrado existen excedentes de producción, por lo que el precio debe disminuir.

Por otro lado, para los costos por concepto de alquiler de maquinaria, alquiler de picadora y mano de obra se utilizaron los establecidos por Villalobos-Villalobos et al. (2015), transformándolos a valor actual del dinero, por medio del porcentaje de inflación correspondiente. En cuanto al costo del plástico para cobertura y el de la melaza se utilizó el brindado por el Almacén Agroveterinario Dos Pinos, al momento en que se desarrolló la investigación.

Finalmente, los costos fueron estimados para un silo de montón, de 10 metros de largo, 6 metros de ancho y 1,5 metros de alto; con una densidad de 650 kg/m<sup>3</sup>, para un total de 58,5 toneladas de material ensilado.

## **5. Análisis de la información**

Se realizó a través de un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al. 2016). La comparación entre medias de tratamientos, en caso que dicho efecto resulte significativo ( $p < 0,05$ ), se realizó a través de la prueba de Waller-Duncan. Para determinar si se presentaron diferencias significativas en las pruebas organolépticas se hizo uso de la prueba de Kruskal-Wallis (Kruskall y Wallis 1952).

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

Donde:

$Y_{ij}$ = Variable de respuesta obtenida de la ecuación.

$\mu$ = Media poblacional.

$T_i$ = Efecto i-esimo del tratamiento utilizado.

$E_{ij}$ = Error experimental E- ( $0, \sigma^2$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Composición nutricional, fraccionamiento energético y de la fibra, de las materias primas y las mezclas previo al proceso de ensilaje.

En el Cuadro 8, se describe la composición nutricional de las materias primas y de cada uno de los tratamientos antes de ensilar.

**Cuadro 8.** Composición nutricional de la corona de piña, el guineo cuadrado y sus mezclas previo al proceso de ensilaje.

<b>Tratamiento</b>	<b>MS (%)</b>	<b>DIVMS (%)</b>	<b>PC (%)</b>	<b>EE (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>
C. de piña	9,10	80,60	12,09	2,86	8,79
G. Cuadrado	20,80	93,60	4,38	2,07	4,57
1	11,50	81,90	10,52	3,65	8,00
2	12,90	83,40	9,30	3,41	7,98
3	13,80	88,00	8,12	2,75	7,03
4	13,70	88,30	7,59	2,19	7,01

El contenido de MS determinado para la corona de piña (9,10%), es menor al mostrado por López-Herrera et al. (2014) donde obtuvieron valores de 17,0% y también es menor al de rastrojos de piña (10,0%) (Rodríguez et al. 2014). Asimismo, el guineo cuadrado verde presentó una MS de 20,80%, lo cual es similar a los valores presentados por Rojas-Bourrillon (2005) en banano verde (20,1%-21,6%).

Por otro lado, al contrastar los resultados obtenidos en las mezclas con pastos como el Estrella africana (*Cynodon nlemfuencis*) (22,7%), King grass (*Pennisetum purpureum*) (17,1%), Ruzi (*Brachiaria ruziziensis*) (18,0%) y kikuyo (*Kikuyuocloa clandestinum*) (15,4%) se hace notable como estos pastos presentan niveles mayores de MS, no obstante, los datos obtenidos se asemejan más a pastos como el San Juan blanco (*Setaria anceps*) (13,0%) (Sánchez y Soto 1996). De

acuerdo con McDonald (1981), se considera que un valor de 30-35% MS, asegura un correcto proceso fermentativo, por lo tanto el valor cuantificado en los tratamientos limitaría el proceso. Debido a que el guineo cuadrado y la melaza (76,6%) (Mata 2017), tienen promedios de MS más altos que la corona de piña es de esperar un incremento en la concentración de MS de las mezclas.

La DIVMS de los materiales frescos usados en este experimento, es mayor a las encontradas en rastrojos de piña por López-Herrera et al. (2009) (73,1-80,4%) y en pasto estrella africana (68,0%) (Villalobos-Villalobos y Arce-Cordero 2014), de igual forma en pasto jaragua (*Hyparrhenia rufa*) (53,19%), kikuyo (63,89%) y *Brachiaria brizantha* (66,25%) (Estrada et al. 2000).

Respecto a la PC en la corona de piña (12,09%) esta es mayor a la determinada por López et al. (2014) que fue de 11,0%, y también es mayor a valores obtenidos para rastrojos de piña (10%) (Rodríguez et al. 2014), *Brachiaria brizantha* (9,6%), guinea (10,5%) y king grass (9,2%) (Sánchez 2006). Del mismo modo, se contrastó el valor obtenido para el guineo cuadrado verde (4,38%) con los valores descritos por Rojas-Bourrillon (2005) en banano verde (5,01-5,10%), lo que hace notable que se obtuvieron valores menores.

Por otra parte, el extracto etéreo (EE) para la corona de piña y el guineo cuadrado fue de 2,86% y 2,07% respectivamente, lo que cual es mayor a lo encontrado en rastrojos de piña (1,77%) (Rodríguez et al. 2014), y banano verde (1.18 – 1.49%) (Rojas-Bourrillon 2005). Asimismo, supera valores de forrajes como el pasto gigante cosechado a 70 días (1,75%) y el maní forrajero cosechado a 60 días (1,95%), sin embargo, no supera al pasto estrella africana (3,2%) (Rojas et al. 1999).

En cuanto al porcentaje de cenizas, se determinó para la corona de piña y el guineo cuadrado valores de 8,79% y 4,57% respectivamente, razón por la cual, en los tratamientos disminuye al mismo tiempo que aumenta el nivel de sustitución de guineo cuadrado. Ahora bien, el valor obtenido para la corona de piña es mayor al indicado por López et al. (2014) de 7,90% y también es mayor al encontrado en rastrojos de piña (8,20%) (Rodríguez et al. 2014). Algo semejante ocurre con el

guineo cuadrado, puesto que, los valores determinados son mayores a los encontrados en banano verde (4,00%) (Garcés 2004).

A continuación (Cuadro 9), se describe el fraccionamiento de la fibra de las materias primas y de cada uno de los tratamientos antes de ensilar.

**Cuadro 9.** Fraccionamiento de la fibra de la corona de piña, el guineo cuadrado y sus mezclas previo al proceso de ensilaje.

<b>Tratamiento</b>	<b>FDN (%)</b>	<b>FDA (%)</b>	<b>NIDA (%)</b>	<b>NIDN (%)</b>	<b>Lig (%)</b>
C. de piña	57,50	32,50	0,16	0,51	2,50
G. Cuadrado	14,50	9,10	0,29	0,35	3,90
1	51,80	28,80	0,12	0,29	2,00
2	47,50	27,50	0,15	0,31	2,00
3	36,40	21,90	0,20	0,41	3,10
4	34,10	20,50	0,23	0,50	3,60

El contenido de la pared celular (FDN) de la corona de piña fresca es similar a la determinada por López-Herrera et al. (2014) (59,3%), y menor a los rastrojos de piña (69,7%) (Rodríguez et al. 2014), y a forrajes tropicales que en promedio contienen entre 65 y 72% de FDN (Sánchez y Soto 1999bc). Con respecto al guineo cuadrado se halló valores mayores a los reportados para banano verde (11,3%) (Rojas-Bourrillon 2005).

Se puede apreciar como la FDA y la FDN disminuyen en los tratamientos mientras se incrementa el nivel de sustitución de guineo cuadrado, debido a que la concentración de FDA y FDN en el guineo cuadrado es menor a la de la corona de piña. Los valores de FDA para corona de piña determinados en esta investigación son menores a los encontrados por López-Herrera et al. (2014) (35,5%) y también son inferiores a los encontrados en rastrojos de piña (37,9%) (Rodríguez et al. 2014). En cuanto al guineo cuadrado, este presenta un nivel de FDA mayor al reportado para banano verde (6,5%) (Rojas-Bourrillon 2005).

En contraste con pastos como Estrella Africana (39,90%), San Juan Blanco (38,60%), San Juan Morado (40,20%), Ruzi (38,70%), kikuyo (34,40%) y King grass (51,10%) los materiales utilizados y los tratamientos presentan niveles menores de FDA (Sánchez y Soto 1993).

Por otra parte, el valor de lignina para la corona de piña (2,5%) fue menor al 3,3% reportado por López-Herrera et al. (2014), sin embargo, puesto que el guineo cuadrado presenta un nivel más alto de lignina respecto a la corona de piña, la concentración en las mezclas tiende a aumentar conforme incrementa el nivel de sustitución de guineo cuadrado, aun así, las mezclas contienen menos lignina que los pastos tropicales como Estrella Africana (5,3% MS), Ruzi (5,2% MS) y King Grass (6,9% MS) (Sánchez y Soto 1997).

Por otra parte, en el Cuadro 10 se detalla el comportamiento del componente energético; en este el porcentaje de CNF y de TDN determinados para la corona de piña fue menor al descrito por López-Herrera et al. (2014), donde se obtuvieron valores de 22,80% y 66,60% respectivamente, sin embargo, la EN<sub>L</sub> en ambos casos es de 1,44 Mcal/kg. Esto se puede deber a que si bien el porcentaje de PC en este experimento es mayor, el porcentaje de FDN es menor y ambos datos son necesarios para el cálculo de la EN<sub>L</sub>.

**Cuadro 10.** Fraccionamiento de la fibra de la corona de piña, el guineo cuadrado y sus mezclas previo al proceso de ensilaje.

Tratamiento	CNF (%)	TDN (%)	ED (Mcal/Kg)	EM (Mcal/Kg)	EN <sub>L</sub> (Mcal/Kg)	EN <sub>M</sub> (Mcal/Kg)	EN <sub>G</sub> (Mcal/Kg)
C. de Piña	21,95	63,51	2,80	2,38	1,44	1,50	0,91
G. Cuadrado	76,67	76,59	3,38	2,96	1,76	2,00	1,35
1	27,84	67,69	2,98	2,56	1,54	1,66	1,05
2	33,75	68,35	3,01	2,59	1,55	1,69	1,08
3	48,26	69,36	3,06	2,64	1,58	1,73	1,11
4	52,24	68,56	3,02	2,60	1,56	1,70	1,08

En cuanto al guineo cuadrado este presentó valores para CNF y TDN menores a los determinados en banano verde (78,0-79,6% y 77,7-84,0% respectivamente), sin embargo, para la ENL el guineo cuadrado se encuentra dentro del rango determinado para banano verde (1,57-1,91 Mcal/kg) (Rojas-Bourrillon 2005). Los resultados de TND en las materias primas utilizadas en esta investigación son mayores a los descritos para pastos como el ryegrass (*Lolium perenne*) (61,95%) (Villalobos-Villalobos y Sánchez 2010), San Juan blanco (56,20%), San Juan morado (52,80%) (Sánchez y Soto 1997), Ruzi (53,70%) y Estrella Africana (53,8%) (Sánchez 2006).

## 2. Características organolépticas de los ensilados.

Al realizar el análisis de las pruebas organolépticas, se determinó que no existían diferencias significativas entre tratamientos para el caso del olor, color y textura. En el Cuadro 11 se muestran los resultados del análisis de las características organolépticas, en donde se puede notar la uniformidad de los silos.

**Cuadro 11.** Evaluación organoléptica de mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.

Tratamiento	Color	Olor	Textura
1	3,8	4,0	4,0
2	3,6	3,8	4,0
3	3,6	4,0	4,0
4	2,4	3,6	3,8

### a. Color

Los ensilados presentaron una coloración que iba del amarillo/verde claro hacia el verde pardo, relacionado al incremento en el nivel de sustitución de guineo cuadrado. Por lo tanto, según lo señalado por Betancourt et al. (2005), podría interpretarse que al incrementar el nivel de guineo cuadrado se disminuye la calidad del ensilado, no obstante, existe un efecto llamado “pardeamiento enzimático” en el que una alteración química aparece en productos vegetales que han sido troceados o que han sufrido contusiones, y no siempre la formación de estos pigmentos se ha de considerar como un fenómeno químico indeseable, este efecto tiene como sustrato a los compuestos fenólicos y un ejemplo de estos son los taninos, los cuales están presentes en los frutos verdes de las musáceas (Bello 2000). En la Figura 2, se puede notar como se oscurecen los productos al incrementar el nivel de sustitución de guineo cuadrado, hasta llegar al punto de verse de forma similar a un ensilado descompuesto.



**Figura 2.** Productos post fermentación. A) Tratamiento 1 (100:0). B) Tratamiento 2 (85:15). C) Tratamiento 3 (70:30). D) Tratamiento 4 (55:45). F) Ensilado descompuesto.

## **b. Olor**

Se logró percibir en la mayoría de los tratamientos, olores acéticos en combinación con olores dulces, estos últimos son propios de los procesos donde se formó ácido láctico, no obstante, pueden ser obtenidos cuando se da fermentación alcohólica gracias al metabolismo de levaduras (Driehuis y van Wikselaar 2000), debido a que el alcohol se une a los ácidos orgánicos y forma ésteres de olor agradable (Hiriart 2008). Esto indica que los ensilados son de buena calidad, sin embargo, en una repetición dañada se lograba percibir un fuerte olor a putrefacción, esto es propio de materiales de mala calidad, donde se ha generado ácido butírico debido a mayor actividad de bacterias clostridiales (Betancourt et al. 2005). Estos resultados son similares a lo indicado en ensilados de leguminosas con guineo cuadrado, en donde no hubo diferencias significativas para esta característica ( $p < 0,05$ ) (Montero 2016).

## **c. Textura**

Los tratamientos conservaron la textura original de la corona de piña y del guineo cuadrado, estos no se degradaron, no eran viscosos, ni se destruían al contacto, además se segregaban con facilidad, por lo tanto, se pueden considerar en cuanto a su textura como ensilajes de buena calidad (Betancourt et al. 2005). Por el contrario, en la repetición dañada se formaba una masa jabonosa y pegajosa.

### 3. Características fermentativas de las mezclas ensiladas.

A continuación (Cuadro 12) se detallan las características fermentativas de cada uno de los tratamientos.

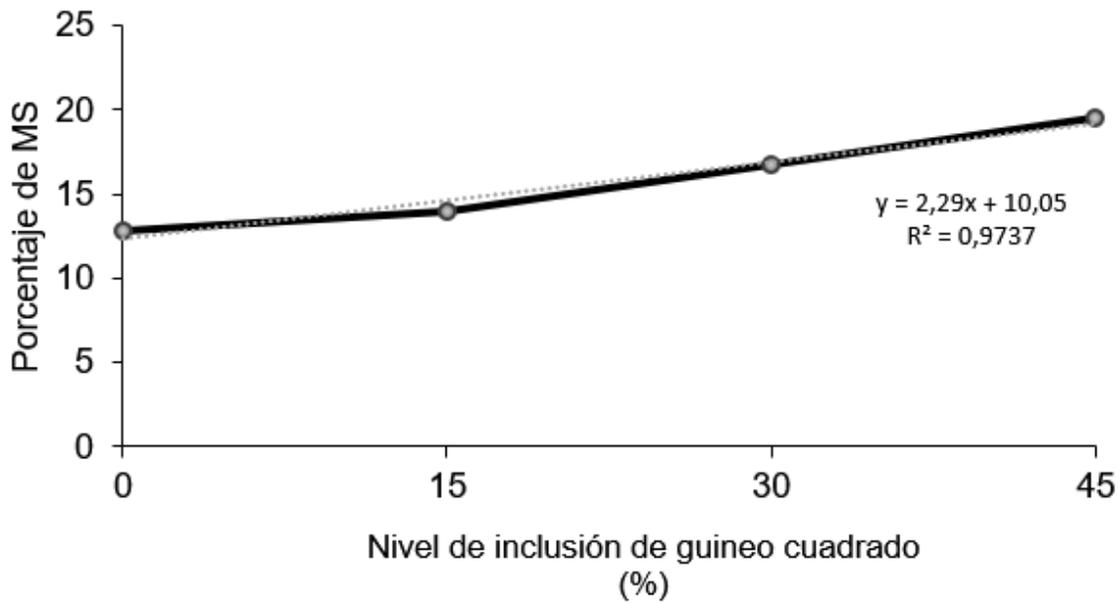
**Cuadro 12.** Características fermentativas de las mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.

Tratamiento	MS (%)	Nitrógeno Amoniacal (% del nitrógeno total)	pH (unidades de pH)	Capacidad Buffer (mmol NaOH / 100 g de MS)
1	12,80 <sup>a</sup>	9,22	4,65	154,74 <sup>a</sup>
2	14,00 <sup>a</sup>	9,32	4,66	139,48 <sup>a</sup>
3	16,80 <sup>b</sup>	8,03	4,55	115,70 <sup>b</sup>
4	19,50 <sup>c</sup>	5,75	4,66	92,35 <sup>c</sup>

Medias con letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

#### a. Materia Seca (MS)

En esta variable el incremento en el nivel de sustitución de guineo cuadrado describió una tendencia lineal ( $R^2 = 0,9737$ ). Además, el valor de MS en los ensilados se incrementó conforme se aumentó el nivel de sustitución de guineo cuadrado, esto debido a que la corona de piña tiene menor contenido de MS que el guineo cuadrado. Se debe agregar que, las diferencias que se presentan no son significativas ( $p < 0,05$ ) en el caso de los primeros dos tratamientos, no obstante, los tratamientos 3 y 4 si presentaron diferencias significativas. Este comportamiento es observable en la Figura 3.



**Figura 3.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el contenido de materia seca de los ensilados.

Por otro lado, es notable que los ensilados realizados en esta investigación (12,8% a 19,5% de MS), poseen niveles inferiores de MS respecto a otros ensilados utilizados en alimentación de rumiantes, como el de fruto de pejibaye (44% y 49% de MS) (Rojas et al. 1990), y el ensilado de soya CIGRAS 06 (27,5% de MS) (Tobía et al. 2004), sin embargo, son similares a lo indicado por Cubero et al. (2010) en ensilados de maíz (14,6 % a 15,7% de MS). Por lo tanto, los ensilajes realizados pueden ser considerados de alta humedad, puesto que, el contenido de MS es inferior a 25% (Boschini y Elizondo 2003).

Al comparar los resultados obtenidos contra ensilados con materias primas similares se puede notar similitud entre los valores, por ejemplo, en ensilados de desechos de piña con pollinaza se obtuvieron valores de 10,27% a 18,91% de MS (Gutiérrez et al. 2003), y en ensilados de rastrojos de piña con pulpa de cítricos deshidratada se obtuvieron valores de 14% a 22% (López-Herrera et al. 2009). Un alto contenido de MS es deseable, debido a que favorece la estabilización y esto a su vez reduce las pérdidas de nutrimentos por efluentes. Además existe una correlación positiva entre este parámetro y el consumo del animal (Rojas-Bourrillon

et al. 1998). Basado en estos resultados se considera conveniente hacer uso de materiales que aumenten el contenido de MS (secantes) de los ensilados, tales como la semolina, la pollinaza o la pulpa de cítricos deshidratada.

#### **b. Nitrógeno amoniacal como porcentaje del nitrógeno total (NH<sub>3</sub>/NT)**

Del análisis de varianza realizado se desprende que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ), sin embargo, es notable como al incrementar el nivel de sustitución de guineo cuadrado, decrece numéricamente el valor de nitrógeno amoniacal. Dicho comportamiento se complementa gracias a su tendencia lineal ( $R^2 = 0,8278$ ),

Ojeda et al. (1991) han establecido que ensilados de excelente calidad deben tener como valor crítico menos de 7% de NH<sub>3</sub>/NT, asimismo, Moreno (1977) indica que concentraciones menores al 11% de NH<sub>3</sub>/NT se califican como ensilados buenos, mientras que ensilados de mala calidad se relacionan con valores superiores al 15% de NH<sub>3</sub>/NT. Por consiguiente, se infiere que ninguno de los ensilados es de mala calidad, considerando, el tratamiento 4 como un ensilado de excelente calidad y los tratamientos 1, 2 y 3 como ensilados de buena calidad. Se puede decir que los procesos proteolíticos, la desaminación de las proteínas de los materiales o la conversión de otros constituyentes nitrogenados a amoníaco, disminuyen numéricamente conforme se incrementa el nivel de sustitución de guineo cuadrado en los ensilados. Esto como se verá más adelante, podría estar vinculado a la disminución de PC conforme el incremento de guineo cuadrado, ya que existen menos componentes nitrogenados que convertir en amoníaco.

Ahora bien, los resultados obtenidos son superiores a los encontrados en ensilados de rastrojos de piña con pulpa de cítricos deshidratada (2,84% a 3,99% (López-Herrera et al. 2009). Sin embargo, al compararlos con ensilados de *Leucaena leucocephala* (7%) (Betancourt 2002), y ensilados de maíz (6,94%) (Berndt 2002) son similares. Por el contrario, tienen valores inferiores a los hallados en ensilados de trébol rojo (*Trifolium sp.*) (14,4%), ryegrass (10,0%) (McDonald 1981), y de desechos de piña con pollinaza (13,23%) (Gutiérrez et al. 2003).

### c. pH

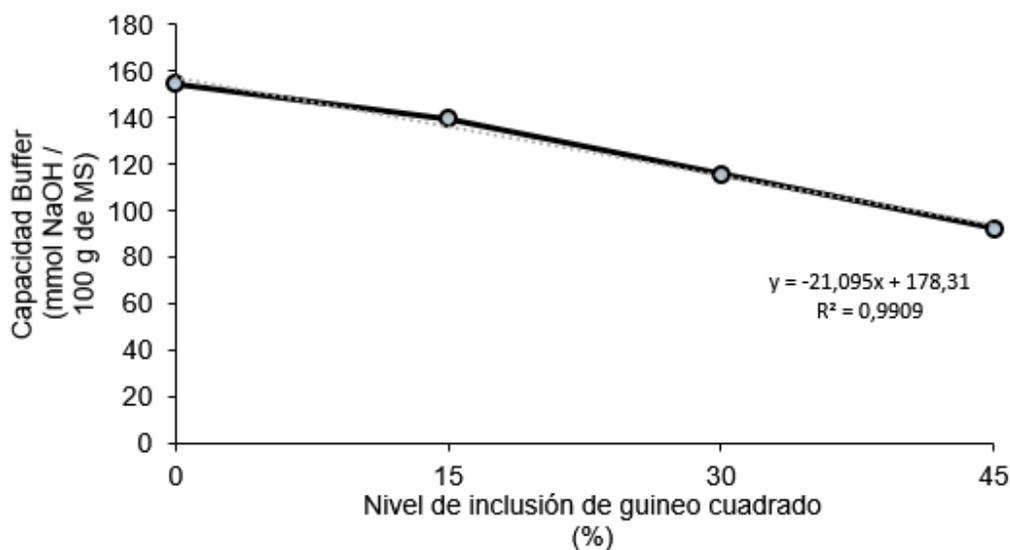
En cuanto a los valores de pH, no se encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en ninguno de los tratamientos, además, no hay una tendencia clara, como se evidencia en su tendencia no lineal ( $R^2 = 0,0372$ ). Por otra parte, al contrastar los datos obtenidos con los reportados en ensilados de desechos de piña con pollinaza (3,29) (Gutiérrez et al. 2003), ensilados de maíz (3,89) (Giger-Riverdin et al. 2002) y ensilados de ryegrass (3,90) (McDonald 1981), se hace notable como los valores de pH conseguidos en este experimento son más altos. Sin embargo, son similares a lo encontrado en ensilados de *Brachiaria brizantha* con urea y minelaza (4,5 – 5,8) (Pietrosemoli et al. 1997), ensilados de leguminosas con guineo cuadrado (4,3 - 4,8) (Montero 2016) y ensilados de pasto Camerún con plátano Pelipita (3,7 – 4,8) (López-Herrera et al. 2017).

Según lo propuesto por Moore y Peterson (1995), un ensilado alto en humedad debe poseer un valor de pH entre 4,00 y 4,20; para poder ser calificado de buena calidad. Por lo tanto, se puede considerar que los ensilados de este experimento bajo este indicador no son de buena calidad. Ahora bien, las musáceas contienen taninos y estos pueden tener un efecto depresor sobre la fermentación microbiana, lo que interfiere en alcanzar el pH ideal (Pérez et al. 1990b). Sin embargo, según lo indicado por Soderlund (1995), bajos niveles de pH se relacionan con detrimentos en el consumo voluntario de materia seca, por lo que, los ensilados realizados en este experimento podrían presentar mejores consumos respecto a ensilados con pH más bajo.

La adición de fuentes de carbohidratos solubles es determinante para lograr la disminución del pH, esto mediante la síntesis de ácidos orgánicos (López-Herrera et al. 2009). Por lo tanto, se puede concluir que los almidones provenientes del guineo cuadrado no participan del proceso de fermentación y que se requiere agregar más cantidad de melaza para asegurar una adecuada fermentación o bien incorporar a la mezcla una parte de los guineos en estado maduro ya que en este estado los almidones pasan a ser azúcares, disponibles para el proceso de fermentación.

#### d. Capacidad Buffer

Los valores de capacidad buffer obtenidos en este experimento, disminuyeron conforme se aumentó el nivel de sustitución de guineo cuadrado, además posee una alta tendencia lineal ( $R^2= 0,9909$ ) (Figura 4). Asimismo, las diferencias que se presentan no son significativas ( $p<0,05$ ) en el caso de los primeros dos tratamientos, no obstante, los tratamientos 3 y 4 si presentaron diferencias significativas.



**Figura 4.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre la capacidad buffer de los ensilados.

Jasaitis et al. (1987) definen la capacidad amortiguadora como la cantidad de ácido o base requerida para producir que en una muestra de 5 g se dé un cambio en una unidad de pH. De ahí que, tras el consumo de un material alto en capacidad buffer, se requerirá de una mayor producción de iones hidroxilos  $[OH^-]$  para alcanzar un equilibrio en el pH ruminal. Lo anterior en el supuesto que el pH ruminal sea mayor al del ensilado.

Los niveles de capacidad buffer hallados en esta investigación son mayores a los encontrados en ensilados de rastrojos de piña con pulpa de cítricos deshidratada (69,1 – 139,3 mEq NaOH/100 g de MS) (López-Herrera et al. 2009), pero, son similares a los descritos en ensilados de rastrojo de piña con urea y

minelaza (29,5 – 246,0 mEq NaOH/100 g de MS) (Rodríguez et al. 2014), ensilados de ryegrass (112,0 mEq NaOH/100 g de MS) (McDonald 1981) y ensilados de maíz (98,7 – 132,2 mEq NaOH/100 g de MS) (Cubero et al 2010). Sin embargo, son menores a los encontrados en ensilados de maíz (342,0 mEq NaOH/100 g de MS) (Giger-Riverdin et al. 2002).

Jasaitis et al. (1987), Giger-Reverdin et al. (2002) y Montañez et al. (2006), concuerdan en que, entre mayor sea contenido de proteína en los materiales frescos, mayor será su capacidad buffer. Aunado a esto, en este experimento la proteína cruda disminuye conforme disminuye la capacidad buffer, este comportamiento podría deberse a la presencia de grupos amino en los aminoácidos que forman las proteínas (Montañez et al. 2006). Cabe recalcar, que la capacidad buffer determinada en los materiales ensilados se debe en su mayoría a los ácidos que se forman durante el periodo fermentativo (Cubero et al. 2010).

#### f. Ácidos Orgánicos

A continuación (Cuadro 13) se detalla sobre el contenido de ácidos orgánicos de cada uno de los tratamientos.

**Cuadro 13.** Contenido de ácidos orgánicos en las mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.

Tratamiento	HAOc	HPOc	HiBOc	HBOc	HLOc
	%MS				
1	3,06 <sup>a</sup>	1,63 <sup>a</sup>	0,11 <sup>a</sup>	1,35	0,16
2	2,60 <sup>b</sup>	1,39 <sup>ab</sup>	0,10 <sup>a</sup>	1,38	0,14
3	1,91 <sup>c</sup>	1,17 <sup>b</sup>	0,07 <sup>b</sup>	1,44	0,11
4	1,31 <sup>d</sup>	0,79 <sup>c</sup>	0,07 <sup>b</sup>	1,27	0,19

HAOc= Ácido acético. HPOc= Ácido propiónico. HiBOc= Ácido isobutírico. HBOc= Ácido butírico. HLOc= Ácido Láctico.

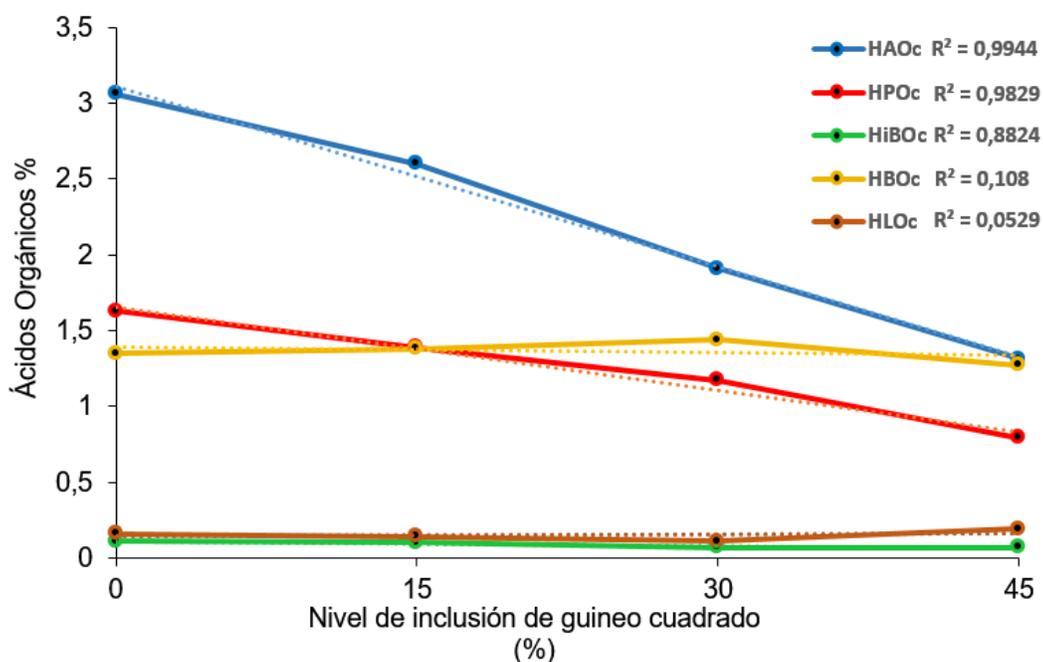
Medias con letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Los contenidos de HAOc (ácido acético) y HPOc (ácido propiónico), disminuyeron conforme aumentó el nivel de sustitución de guineo cuadrado. En el caso del HPOc, el tratamiento 2 no presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), respecto a los tratamientos 1 y 3. El INRA (1981), establece como valor crítico para el HPOc no más de 1%, por lo que en este caso se considera que solo el tratamiento 4 logra el valor óptimo de HPOc. Al comparar los resultados obtenidos para el HPOc con lo indicado en ensilados de leguminosas con diferentes fuentes de carbohidratos (0,3% - 0,6%) (López-Herrera y Briceño-Arguedas 2017), se hace notable que este experimento los valores fueron mayores.

En el caso del HAOc, todos los tratamientos tuvieron contenidos de estadísticamente diferentes ( $p < 0,05$ ), asimismo, Tobía y Vargas (2000) establecen que el HAOc debe ser menos de 1,8% y no más de 6,0%, debido a que el HAOc en el ensilado genera olor y sabor que influye de manera negativa sobre el consumo voluntario (Lara y Lara 1977); por lo que en este experimento el contenido es considerado bueno para los tratamientos 1, 2 y 3 y óptimo para el tratamiento 4. Los valores de HAOc determinados son similares a lo indicado para ensilajes de leguminosas con guineo cuadrado (0,9% - 6,0%) (Montero 2016), ensilados de desechos de piña con pollinaza (1,0% - 2,9%) (Gutiérrez et al. 2003), y ensilados de pejibaye (1,4% - 1,6%) (Rojas-Bourrillon et al. 1990).

Respecto al HiBOc (ácido isobutírico), este presentó diferencias significativas en los tratamientos 1 y 2 respecto a los tratamientos 3 y 4 y una tendencia lineal  $R^2=0,8824$ . Por otro lado, no se presentaron diferencias significativas en los contenidos de HBOc (ácido butírico) y HLOc (ácido láctico), ni hubo tendencias claras, lo que se evidencia en su baja tendencia  $R^2=0,108$  y  $R^2=0,0529$  respectivamente. Según Tobía y Vargas (2000), el valor de HBOc debe ser menos de 0,1% y no más de 2,0%; de ahí se concluye que el valor de HBOc en este experimento es aceptable. Los resultados obtenidos para HBOc son similares a lo encontrado en ensilajes de leguminosas con guineo cuadrado (0,6% - 4,5%) (Montero 2016), y en ensilados de desechos de piña con pollinaza (0,0% - 2,1%) (Gutiérrez et al. 2003), sin embargo, son mayores que lo encontrado en ensilados de pejibaye (0,1%) (Rojas-Bourrillon et al. 1990).

Los contenidos de HLOc (Ácido Láctico) en este experimento se encuentran en cantidades inferiores a las recomendadas (1,5% – 3% MS); además, la formación del ácido láctico es necesaria para la obtención de pH ideal (De la Roza-Delgado 2005). Por lo tanto, este rubro se puede considerar como malo o insuficiente para todos los tratamientos, lo que pudo haber ocasionado que no se alcanzara el valor de pH idóneo. Al comparar los resultados obtenidos con los encontrados en ensilados de leguminosas con guineo cuadrado (1,6% – 3,9%) (Montero 2016), ensilados de desechos de piña con pollinaza (1,3% – 3,3%) (Gutiérrez et al. 2003), y ensilados de pejibaye (5,8% - 6,4%) (Rojas-Bourrillon et al. 1990), se hace notable como en este experimento los valores fueron menores. Los comportamientos descritos son notables en la Figura 5.



**Figura 5.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el contenido de ácidos orgánicos de los ensilados.

Ahora bien, algunas de las bacterias que producen HBOc (*Clostridium*) degradan los azúcares y el ácido láctico hasta ácido butírico, lo que a su vez eleva el pH del ensilado e inicia el deterioro y la putrefacción, otras (proteolíticas) degradan las proteínas hasta ácido butírico y amoníaco, en ambos casos las bacterias se desarrollan cuando hay oxígeno disponible y un pH superior a 4 (De la

Roza-Delgado 2005). Dicha situación suele suceder cuando el forraje es demasiado húmedo y el pH no disminuye rápidamente, lo que genera pérdida de MS, descomposición y malos olores (Weinberg y Muck 1996). Por tanto, se demuestra que en este experimento se logró eliminar el oxígeno de manera aceptable, por medio de la compactación.

Por otra parte, el ácido láctico puede ser degradado a ácido acético y otras sustancias en condiciones anaeróbicas en presencia de microorganismos heterofermentadores como el *Lactobacillus buchneri* (Sukhija y Palmquist 1988). Esto puede tener un impacto beneficioso debido a que se ha relacionado la producción de ácido acético con la estabilidad aeróbica, puesto que el ácido acético inhibe el crecimiento de especies específicas de levaduras que son responsables del calentamiento al exponerse a oxígeno (Combs y Hoffman 2012).

#### 4. Componentes de la pared celular

A continuación (Cuadro 14) se detalla sobre el fraccionamiento de la fibra de cada uno de los tratamientos.

**Cuadro 14.** Fraccionamiento de la fibra en mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.

Tratamiento	FDN	FDA	NIDN	NIDA	Lig	DIVFDN	Pectinas
	%MS						
1	51,34 <sup>a</sup>	30,60 <sup>a</sup>	0,30 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	1,88 <sup>a</sup>	60,20 <sup>a</sup>	3,90 <sup>a</sup>
2	44,68 <sup>b</sup>	26,64 <sup>b</sup>	0,36 <sup>b</sup>	0,21 <sup>a</sup>	2,30 <sup>a</sup>	58,30 <sup>b</sup>	11,34 <sup>a</sup>
3	33,00 <sup>c</sup>	20,12 <sup>c</sup>	0,40 <sup>c</sup>	0,28 <sup>b</sup>	2,48 <sup>ab</sup>	53,96 <sup>b</sup>	21,10 <sup>b</sup>
4	28,63 <sup>c</sup>	17,88 <sup>c</sup>	0,47 <sup>d</sup>	0,29 <sup>b</sup>	3,08 <sup>b</sup>	43,58 <sup>c</sup>	22,43 <sup>b</sup>

DIVFDN: digestibilidad in vitro de la FDN.

Medias con letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

### **a. Fibra detergente neutro (FDN) y su digestibilidad in vitro (DIVFDN)**

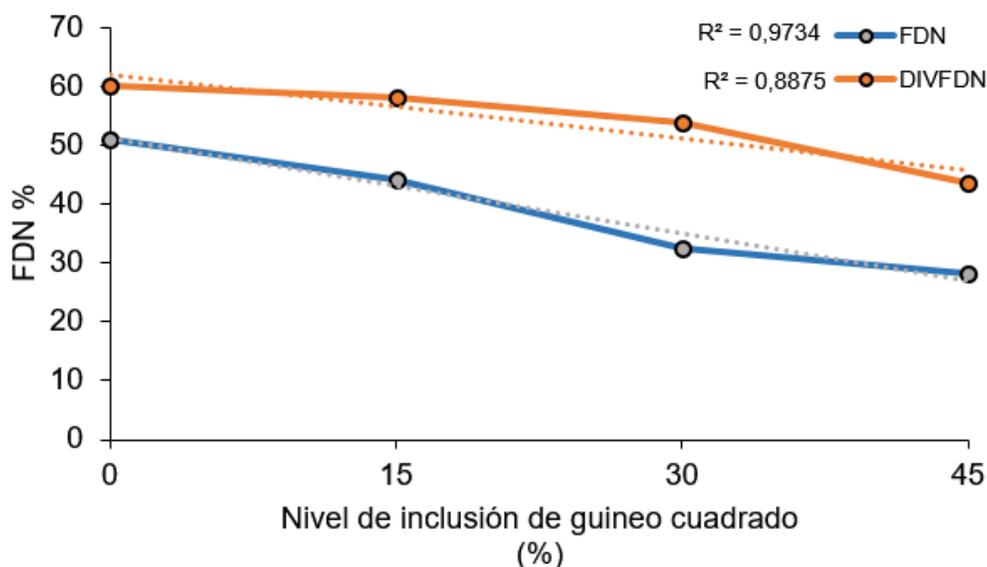
Es notable como el contenido de FDN disminuye conforme aumenta el nivel de sustitución de guineo cuadrado, esto se debe a que el guineo cuadrado presenta un menor contenido de FDN respecto a la corona de piña. Lo cual podría traducirse en que, al aumentar el nivel de sustitución de guineo cuadrado se favorece el consumo, esto debido a que la FDN posee una baja tasa de pasaje, ya que es fermentada más lentamente que otros componentes de la dieta, lo cual ejerce un mayor efecto de llenado físico (Cruz y Sánchez 2000). Dado lo anterior, se hizo uso de la metodología propuesta por Belyea et al. (1996) ( $120 / \%FDN$ ) y se obtuvo un pronóstico de consumo para el ensilado de corona de piña con guineo cuadrado que va del 2,3% al 4,2% del peso vivo de acuerdo al nivel de sustitución de guineo cuadrado.

El contenido de FDN tiene una alta tendencia lineal ( $R^2= 0,9734$ ), aunado a esto, se presentaron diferencias significativas en todos los tratamientos a excepción de los tratamientos 3 y 4 que no difirieron entre ellos. Asimismo, los valores de FDN obtenidos en este trabajo son menores a los descritos por Gutiérrez et al. (2003) en ensilados de desechos de piña con pollinaza (67,08%) y a los de Tobía et al. (2004) en ensilados de maíz (51,7%). Sin embargo, son similares a los obtenidos en ensilados de maní forrajero ecotipo 34 (*Arachis pinto*) cosechado a las 12 semanas (42,4%-49,6%) (WingChing y Rojas 2007) y en ensilados de rastrojo de piña (48%-41,8%) (López-Herrera et al. 2009). Según indican Cruz y Sánchez (2000), una ración para ganado lechero de alta producción debe tener como mínimo 26 a 28% de FDN y un tamaño adecuado de partícula para evitar problemas metabólicos.

Respecto a la DIVFDN, esta tiene una tendencia lineal de ( $R^2= 0,8875$ ), además, la DIVFDN también disminuyó conforme se aumentó el nivel de sustitución de guineo cuadrado, esto puede deberse entre otros factores, a que el guineo cuadrado posee un contenido más alto de lignina que la corona de piña, por lo tanto la fibra del guineo cuadrado es de menor calidad, pues a pesar de ser baja no favorece la digestibilidad de la FDN. Las musáceas verdes en general además de poseer un bajo contenido de fibra y proteína, poseen un alto contenido en taninos

(Velásquez 2005), estos taninos poseen diferentes efectos en la digestión, por ejemplo, baja degradabilidad de la proteína en el rumen, y reducción de la digestión del nitrógeno en el intestino delgado, lo cual puede generar una disminución de la DIVFDN debido a reacciones entre los taninos y el nitrógeno ligado a la FDN (Kraiem et al. 1990).

Los valores de NIDN aumentaron conforme se incrementó el nivel de sustitución de guineo cuadrado, por otro lado, el valor de NIDN menos el valor de NIDA representa el nitrógeno de la pared celular disponible, el cual es de una degradabilidad lenta y compone la fracción proteica tipo B3 (Guada 1996). Ahora bien, al comparar los resultados obtenidos con lo encontrado en ensilados de Pasto Camerún con Pelipita (0,87% - 2,38% NIDN en la MS) (0,53% - 1,62% NIDA en la MS) (López-Herrera et al. 2017), es notable que en este experimento ambos casos presentaron valores menores. El cálculo de la FDN incluye el NIDN, por lo que al restarlo se hace un mejor ajuste, en la Figura 6 se puede observar el comportamiento de la FDN ya ajustada y el de la DIVFDN.



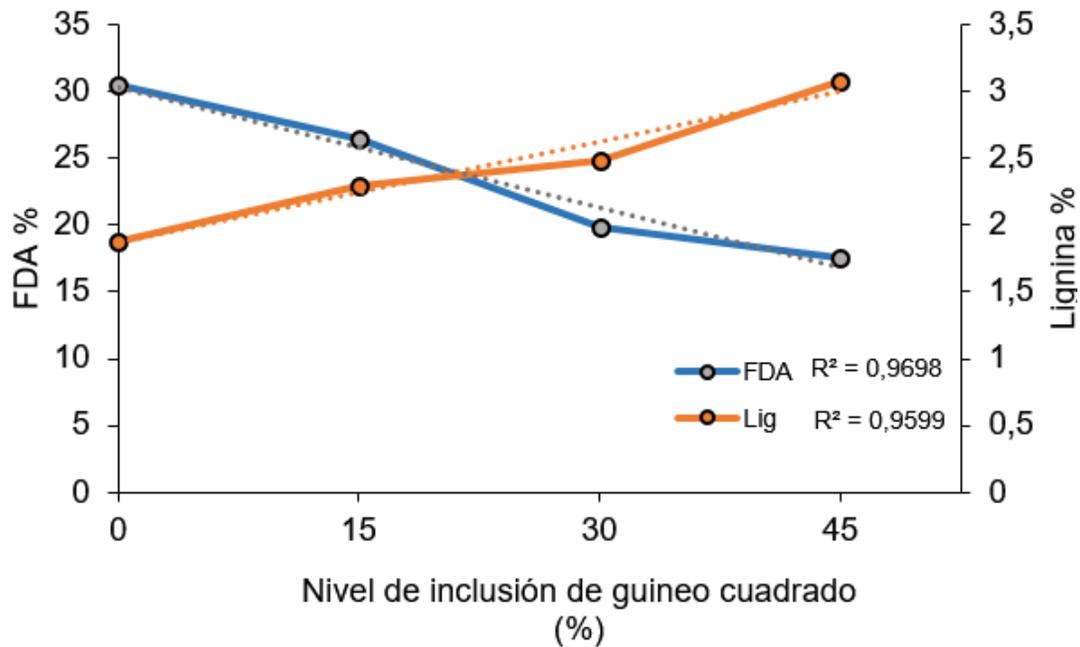
**Figura 6.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de FDN y el de DIVFDN de los ensilados.

## **b. Fibra detergente ácido (FDA) y lignina**

El contenido de FDA tuvo una alta tendencia lineal ( $R^2= 0,9698$ ), además, el contenido de FDA disminuyó conforme aumentó el nivel de sustitución de guineo cuadrado, esto se debe a que el guineo cuadrado presenta un menor nivel de FDA respecto a la corona de piña. Aunado a esto, se presentaron diferencias significativas en los tratamientos a excepción de los tratamientos 3 y 4 que no difirieron entre ellos. Al contrastar los resultados obtenidos con los indicados para ensilados de desechos de piña (35,39%) (Gutiérrez et al. 2003) y en ensilados sorgo (38,7%) (Jones et al. 2004), se hace notar que los de este estudio son menores, sin embargo, son similares a los de ensilados de rastrojos de piña (29,9% -26,5%) (López-Herrera et al. 2009) y a los de ensilados de *Leucaena leucocephala* (24,93%) (Betancourt et al. 2002).

Por otra parte, el porcentaje de lignina aumenta conforme se incrementa el nivel de sustitución de guineo cuadrado, además, posee una alta tendencia lineal ( $R^2= 0,9599$ ). Esto se debe a que, la concentración de este compuesto fue mayor en el guineo cuadrado, respecto al contenido de lignina de la corona de piña. Estudios revelan que el valor promedio de lignina en las cáscaras de las musáceas varía entre 6–16,8% MS (Happi-Emaga et al. 2008; Mohapatra et al. 2010). Asimismo, los resultados de lignina obtenidos en este estudio son menores a los reportados para ensilados de sorgo (6,5%), ensilados de soya (6,5%) y ensilados de avena (5,5%) sin embargo, son similares a los hallados en ensilados de maíz (2,6% - 3,5%) (Jones et al. 2004), y en ensilados de rastrojos de piña (2,46% - 2,93%) (López-Herrera et al. 2009).

Ahora bien, el valor del NIDA representa el nitrógeno de la pared celular indisponible, el cual es indegradable y compone la fracción proteica tipo C, que es el nitrógeno ligado a la lignina (Guada 1996). Ahora bien, el cálculo de la FDA incluye el NIDA, por lo que al restarlo se hace un mejor ajuste. En la Figura 7 se puede observar el comportamiento de la FDA ya ajustada y el de la lignina

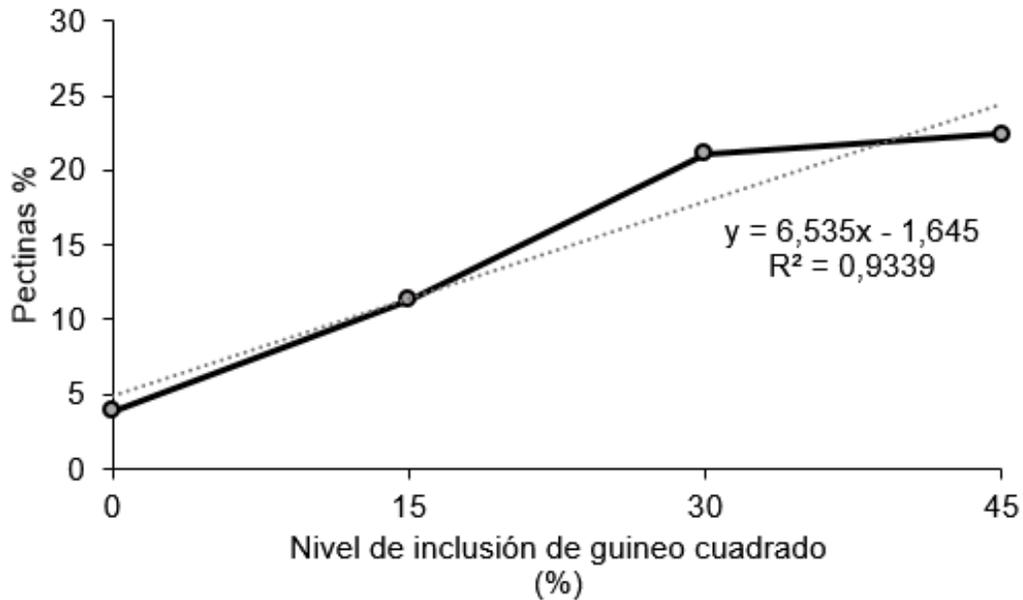


**Figura 7.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de FDA y el de lignina.

Tanto el contenido de FDA como el de lignina se correlacionan negativamente con la digestibilidad de los alimentos y por tanto con su aporte de energía (Harris 1993). De conformidad con lo anterior, mientras se incrementó el nivel de sustitución de guineo cuadrado se disminuyó el contenido de FDA, lo que a su vez incrementó la DIVMS, sin embargo, el incremento en el nivel de sustitución de guineo cuadrado también aumentó en el contenido de lignina lo que se vincula con la disminución de la DIVMS.

### c. Pectinas

El comportamiento de las pectinas describió una curva creciente conforme se incrementó el nivel de sustitución de guineo cuadrado, además, presentó una tendencia lineal ( $R^2= 0,9339$ ) (Figura 8). En cuanto a las diferencias estadísticas, los tratamientos 1 y 2 no presentan diferencias significativas entre ellos, sin embargo, si las tienen respecto a los tratamientos 3 y 4.



**Figura 8.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de pectinas de los ensilados.

Las pectinas son el carbohidrato complejo que se degrada de manera más rápida en el rumen, mientras que los almidones y la celulosa varían de acuerdo con la fuente. Sin embargo, aunque la pectina sea muy fermentable, no se incurre en el riesgo de reducir en demasía el pH ruminal, ya que está asociada a la estructura del ácido galacturónico que le confiere capacidad amortiguadora (Rojas-Bourrillon 1995). Además, las pectinas tienen la capacidad de atrapar de forma rápida cationes divalentes, lo que puede neutralizar los ácidos producidos en la fermentación ruminal, además, su fermentación a pH altos tiende a generar como producto acetato, que al metabolizarse aumenta la producción de leche y el contenido de grasa (Relling y Mattioli 2003).

## 5. Características nutricionales de los ensilados de rastrojos de piña

A continuación (Cuadro 15) se detalla sobre la composición nutricional de cada uno de los tratamientos.

**Cuadro 15.** Composición nutricional de mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.

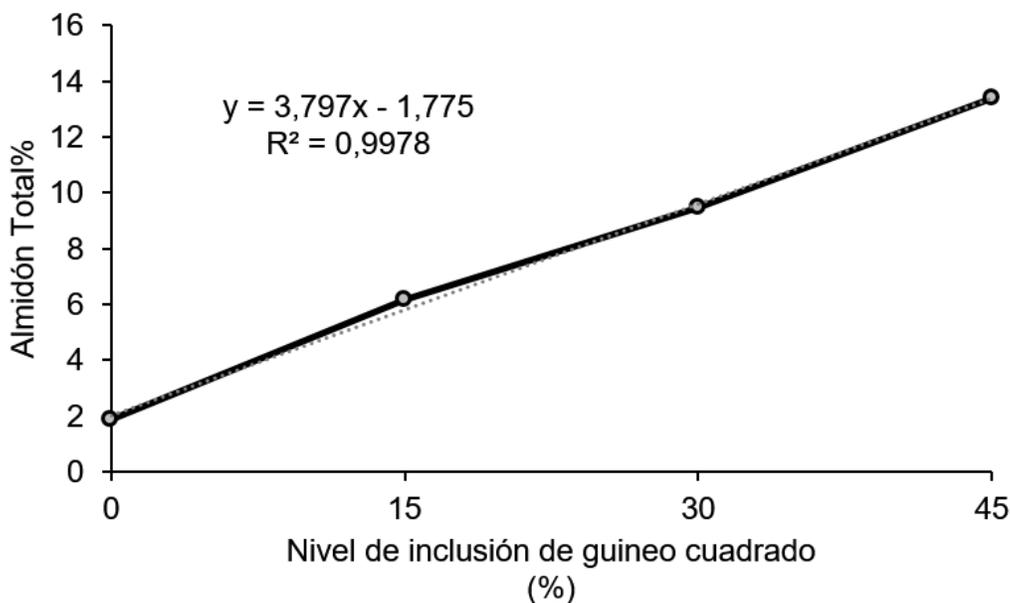
Tratamiento	Almidón resistente	Almidón total*	CNF	PC	EE	Cenizas	DIVMS
1	1,00 <sup>a</sup>	1,85 <sup>a</sup>	17,76 <sup>a</sup>	8,27 <sup>a</sup>	3,35	21,14 <sup>a</sup>	79,50 <sup>a</sup>
2	3,32 <sup>b</sup>	6,15 <sup>b</sup>	29,89 <sup>b</sup>	7,16 <sup>b</sup>	3,80	16,73 <sup>ab</sup>	81,44 <sup>ab</sup>
3	5,12 <sup>c</sup>	9,47 <sup>c</sup>	45,32 <sup>c</sup>	6,03 <sup>c</sup>	3,65	14,49 <sup>b</sup>	84,94 <sup>c</sup>
4	7,24 <sup>d</sup>	13,40 <sup>d</sup>	50,61 <sup>d</sup>	5,68 <sup>c</sup>	3,89	13,62 <sup>b</sup>	83,90 <sup>bc</sup>

\*resistente + degradable.

Medias con letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

### a. Almidón

El porcentaje de almidón resistente y almidón total aumentan conforme se incrementa el nivel de sustitución de guineo cuadrado, además, poseen una alta tendencia lineal ( $R^2 = 0,998$ ). Asimismo, todos los tratamientos presentaron diferencias significativas entre ellos ( $p < 0,05$ ), lo cual es apreciable en la Figura 9. Se determinó un contenido de almidón resistente del 54% respecto al total del almidón, lo cual es similar a lo hallado por Jiménez et al. (2011) en plátano cuadrado fresco (55,08%) y en plátano macho (49,98%). Además, Ravi y Mustaffa (2013) indican que, cerca del 57% del almidón de los frutos de musáceas es resistente a la degradación, lo que implica una baja participación en el proceso de ensilaje. Aunado a esto, la acidificación del ensilaje inactiva las amilasas bacterianas, por tal motivo, los almidones no son aprovechados por las bacterias y por lo tanto no participan en el proceso de ensilaje (Rojas-Bourrillon 1985).



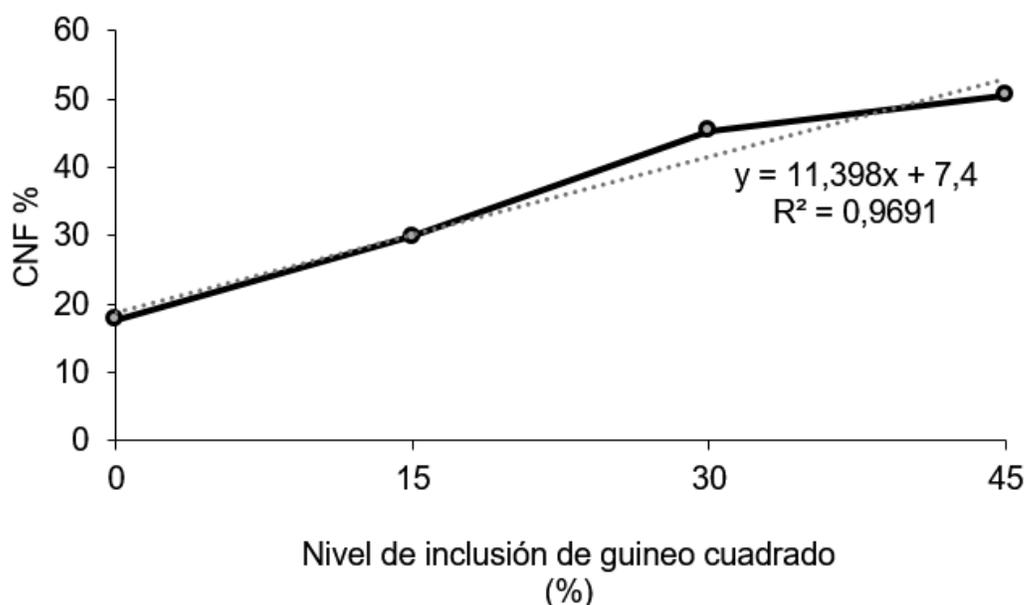
**Figura 9.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de almidón total de los ensilados.

Martin et al. (2008) indican que el ensilado de maíz puede tener valores de hasta 31% de almidón, cuando hay un muy bajo contenido de fibra. Asimismo Mier (2009), reportó valores de almidón en ensilados de maíz del 12% al 17%. Por lo que se concluye que, los ensilados realizados en este experimento contienen valores de almidón menores respecto a los ensilados de maíz.

Por otro lado, Langkilde et al. (2002), indican que al suplementar banano verde crudo como fuente de almidón resistente; las concentraciones de ácidos grasos de cadena corta como el acetato y butirato fueron significativamente mayores a nivel intestinal, sin embargo, la proporción de propionato fue menor. Esto implicaría que los tratamientos con mayor contenido de almidón resistente promuevan un aumento de acetato y butirato, por ende, un aumento en la síntesis de grasa de los animales, además este efecto sería reforzado por la reducción del propionato, ya que este posee una correlación negativa con la síntesis de grasa y positiva con la de proteína (Rojas-Bourrillon 1995).

## b. Carbohidratos no fibrosos (CNF)

El contenido de CNF tuvo una alta tendencia lineal ( $R^2= 0,9691$ ) lo cual, representa que el contenido de CNF aumentó conforme incrementó el nivel de sustitución de guineo cuadrado. Cabe resaltar que todos los tratamientos presentaron diferencias significativas, lo anterior se hace notable en la Figura 10.



**Figura 10.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de CNF de los ensilados.

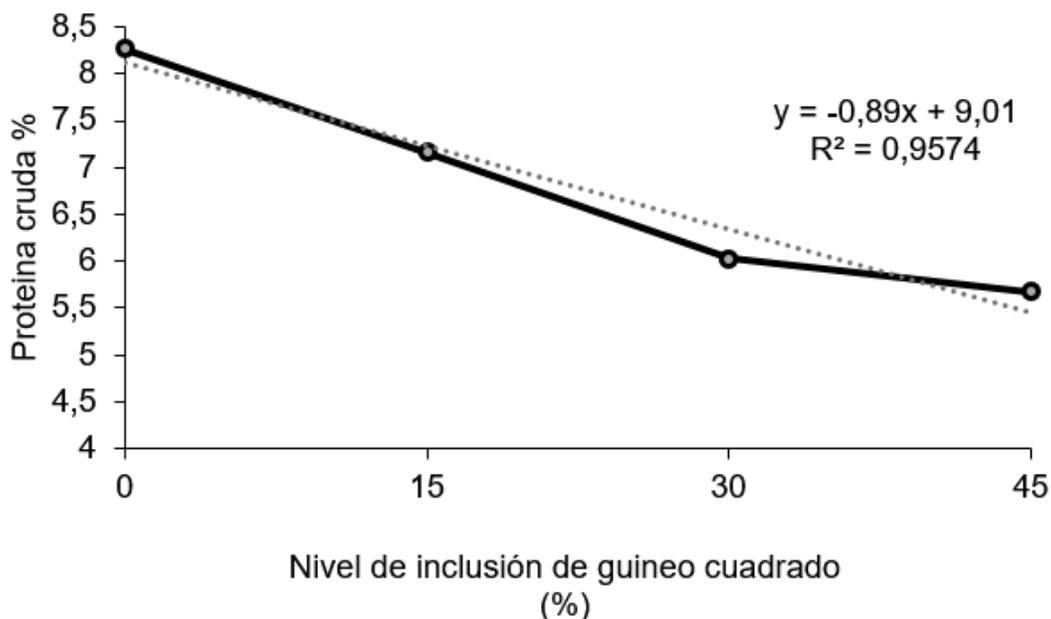
Al contrastar los resultados obtenidos respecto a los encontrados en ensilados de rastrojos de piña (8,72%-21,22%) (Rodríguez et al. 2014) y en ensilados de desechos de piña con pollinaza (18,46% - 12,34%) (Gutiérrez et al. 2003), es notable como los ensilados realizados en este experimento tienen mayores contenidos. Sin embargo, si se comparan con ensilados de maíz con menos de 25% de MS (28,9% - 39,8%) (NRC 2001), o con ensilados de *Leucaena leucocephala* (36,7%) (Betancourt et al. 2002) se encuentra que son similares.

La ración total del ganado lechero debe contener entre 30 y 40% de carbohidratos no fibrosos, sin embargo, si los carbohidratos de la dieta son de rápida fermentación tanto el valor máximo como el mínimo deben ser menores para evitar

una acidosis (Chase y Sniffen 1991). Bajo este parámetro solo el tratamiento 2 ajusta, ya que, el tratamiento 1 es deficiente, por lo que habría que suplementar CNF por otra vía, por ejemplo con melaza o semolina. Por otra parte, los tratamientos 3 y 4 cuentan con exceso de CNF, sin embargo, el alto aporte de pectinas permitiría el uso de estos ensilados sin interferir en la función ruminal. Además, una ración para ganado lechero de alta producción debe tener como mínimo de 26% a 28% de FDN para evitar problemas metabólicos (Cruz y Sánchez 2000), y en todos los tratamientos de este experimento se obtuvieron valores mayores.

### c. Proteína cruda (PC)

En este ensayo, al incrementar el nivel de guineo cuadrado los valores de PC disminuyeron, además, posee una alta tendencia lineal ( $R^2= 0,9574$ ) (Figura 11), esto sucede debido a que el guineo cuadrado presenta un valor de PC menor al de la corona de piña; cabe recalcar que todos los tratamientos presentaron diferencias significativas.



**Figura 11.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de PC de los ensilados.

Por otra parte, los niveles de proteína obtenidos en este experimento, son menores a los determinados para ensilados de maíz (8,9%) (Tobía et al. 2004), ensilados de sorgo (9,1%), soya (17,4%), pasto sudan (12,3%) (Jones et al. 2004) y ensilados de desechos de piña con pollinaza (10,28% - 12,33%) (Gutiérrez et al. 2003). Sin embargo, se encuentran valores similares a los hallados en ensilados de rastrojos de piña con pulpa de cítricos deshidratada (8,24% - 7,08%) (López-Herrera et al. 2009) y mayores a los descritos en ensilados de pejibaye (4,95% - 5,93%) (Rojas et al. 1990).

Milford y Minson (1965) indican que niveles inferiores al 7% de proteína cruda en forrajes se asocia a bajos consumos, por lo tanto, al considerar el uso de los ensilados descritos en este experimento, se generaría un ambiente ruminal limitante para el desarrollo las bacterias, lo que generaría que se disminuya la tasa de digestión de la fibra y la tasa de pasaje ruminal y en consecuencia se disminuiría el consumo de materia seca, la ganancia de peso y el rendimiento de los animales (Del Curto et al. 2000). Ahora bien, el consumo podría incrementarse mediante la suplementación proteica, o bien la adición de fuentes nitrogenadas al realizar las mezclas, tales como: urea, DDGS (granos secos de destilería con solubles), harina de soya o pollinaza; lo cual podría ser material de experimentación para futuras investigaciones.

#### **d. Extracto etéreo (EE)**

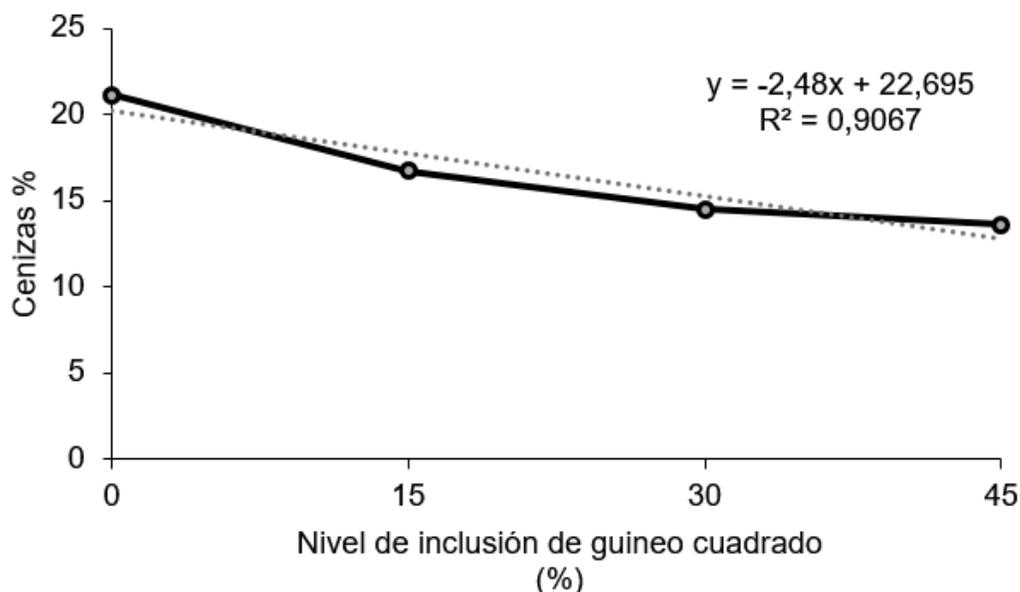
Según el análisis de varianza realizado, no hubo diferencias significativas en el contenido de EE en ninguno de los tratamientos, además, posee una baja tendencia ( $R^2= 0,6428$ ). Sin embargo, existe un aumento numérico en el contenido de extracto etéreo conforme se incrementa el nivel de sustitución de guineo cuadrado. Por otro lado, los resultados obtenidos en este estudio son mayores a los hallados en ensilados de desechos de piña (2,52%) (Gutiérrez et al. 2003), ensilados de rastrojos de piña (1,56% - 2,24%) (López-Herrera et al. 2009) y menores a los de ensilados de pejibaye (11,0% - 11,65%) (Rojas et al. 1990).

Palmquist (1986), sugiere para dietas de rumiantes 7% de extracto etéreo como el nivel máximo en la materia seca total. Ahora bien, el contenido de extracto etéreo de los ensilados realizados en esta investigación es menor al 7%, por lo tanto, se puede inferir que su utilización no tendría efectos tóxicos sobre los microorganismos ruminales si se utilizan como única fuente forrajera. Si se toma en cuenta que únicamente el 50% del extracto etéreo es digerido y aprovechado por el animal, los contenidos de extracto etéreo obtenidos en los ensilajes evaluados son despreciables (Weiss et al. 1992).

Una de las principales limitantes en producción bovina en el trópico es el consumo de energía, lo cual ha sido solucionado al incrementar la densidad energética de los suplementos (Rojas et al. 1998). Por ejemplo, el uso de grasas de sobrepeso; sería una estrategia de uso válido al implementarse con los ensilados elaborados en esta investigación.

#### **e. Cenizas**

Según los datos de esta investigación el mayor contenido de cenizas se encuentra en el tratamiento 1, este presenta diferencias significativas respecto a los otros tratamientos excepto con el tratamiento 2. Se puede como el nivel de cenizas disminuye conforme aumenta el nivel de sustitución de guineo cuadrado, esto ya que el guineo cuadrado posee un valor de cenizas más bajo que la corona de piña. Además, esta característica posee una alta tendencia lineal ( $R^2= 0,9067$ ). Lo anterior se puede apreciar en la Figura 12.



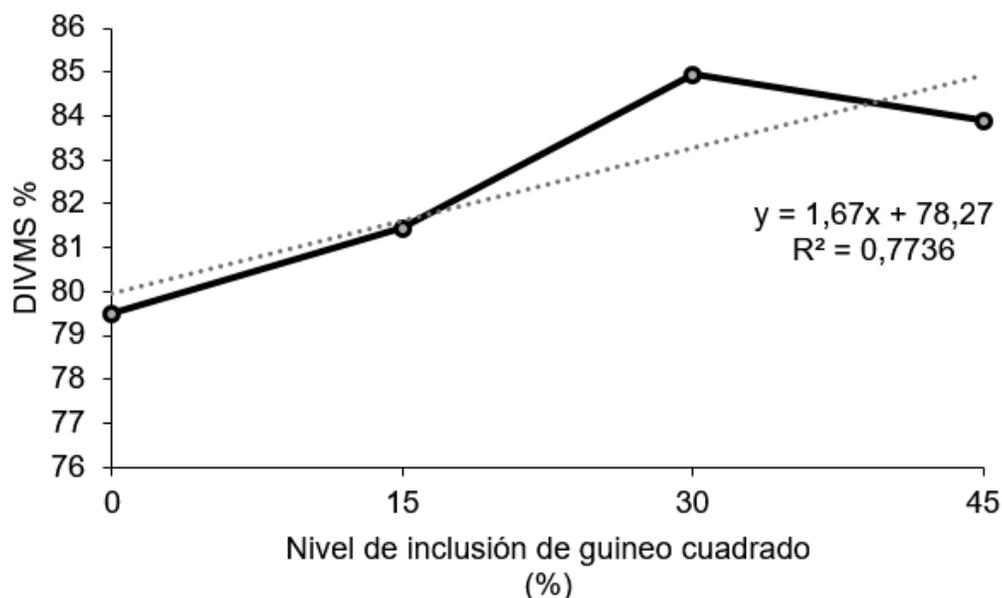
**Figura 12.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de cenizas de los ensilados.

Ahora bien, al contrastar los resultados obtenidos en esta investigación es notable como son mayores a los obtenidos en ensilados de rastrojos de piña con pollinaza (10% - 8,7%) (López-Herrera et al. 2009), ensilados de rastrojos de piña con urea y minelaza (8,48% - 13,55%) (Rodríguez et al. 2014), ensilado de maíz (5,5%), ensilados de ryegrass (6,8%) (McDonald 1981) y ensilado de soya (5,5%) (Tobía y Villalobos 2004).

Chaverra y Bernal (2000) establecen que contenidos de cenizas mayores a 12% se asocian a contaminaciones con suelo durante la cosecha o durante la elaboración del ensilado. Desde otra perspectiva, Noriega et al. (2009) establecen que durante el proceso de ensilaje las materias primas sufren cambios químicos, los cuales aumentan la disponibilidad de los minerales presentes en ella, lo que podría ser una de las razones del incremento en cenizas respecto a los materiales frescos en este experimento. Los minerales esenciales más rápidamente disponibles, pueden contribuir a una mayor digestibilidad en materiales fibrosos (Wanapat et al. 1985), por lo que el alto contenido de cenizas en los ensilados de este experimento, podrían estar vinculados a la alta digestibilidad *in vitro* de la MS.

#### f. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)

La DIVMS en este experimento tuvo un comportamiento cuadrático y el mayor porcentaje se encontró en el tratamiento 3, dicho comportamiento se puede notar en la Figura 13.



**Figura 13.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de DIVMS en los ensilados.

Valores altos de DIVMS como los reportados en este experimento, se han asociado con la capacidad de los ruminantes para mantener niveles adecuados de producción, ya que es un indicativo de la capacidad de un alimento para aportar nutrientes a la flora ruminal (Preston y Leng 1990).

Los resultados obtenidos fueron menores a los encontrados en ensilados de pejibaye (83,71% - 88,20%) (Rojas et al. 1990), sin embargo, son similares a los ensilados de rastrojos de piña (74,9% - 85,12%) (López-Herrera et al. 2009) y ensilados de desechos de piña (82,30%) (Gutiérrez et al. 2003), pero mayores a los determinados en ensilados de piña (45,9% - 65,3%) (Lallo et al. 2003) y ensilados de rastrojos de piña con urea y minelaza (50,78% - 69,42%) (Rodríguez et al. 2014).

Offner et al. (2003), indican que el almidón es más digerible que la FDN, y como en este experimento existe una relación inversa entre el almidón y la FDN, es de esperar un incremento en la DIVMS, conforme incrementa el contenido de almidón. Además, como se mencionó los minerales esenciales pueden contribuir a una mayor digestibilidad en materiales fibrosos y al incrementarse estos del tratamiento 1 al 4, es de esperar un incremento en la DIVMS. (Wanapat et al. 1985)

Algunos factores como el contenido de FDA y la lignina se correlacionan negativamente con la DIVMS (Harris 1993). En este experimento mientras se incrementó el nivel de sustitución de guineo cuadrado, se disminuyó el contenido de FDA, esto explica en parte el incremento de la DIVMS del tratamiento 1 al 3. No obstante, el incremento en el nivel de sustitución de guineo cuadrado también aumentó en el contenido de lignina, lo que explica la disminución de la DIVMS del tratamiento 3 al 4. Asimismo, el guineo cuadrado contiene taninos que pueden inactivar los microorganismos y sus enzimas, por lo que la digestibilidad puede ser inhibida en el rumen (Ramírez-Orduña et al. 2002), por lo tanto la DIVMS puede disminuir cuando se incrementa mucho el contenido de guineo.

El coeficiente de correlación existente entre la DIVMS y el %TND ( $r = 0,45$ ), da a interpretar que existe una baja asociación positiva entre estos valores, sin embargo, los coeficientes de correlación que hay entre la DIVMS y la FDN, y entre DIVMS y FDA,  $r = -0,83$  y  $r = -0,85$  respectivamente, indican que existe una alta asociación negativa entre estos valores. Por lo tanto, se puede afirmar que tienen más incidencia sobre la DIVMS los valores de FDN y FDA que el valor de %TND. Esto se puede deber en parte a que el cálculo para determinar el %TND (NRC 2001), no contempla el valor de pectinas, siendo estas el carbohidrato complejo que se degrada de manera más rápida en el rumen (Rojas-Bourrillon 1995).

## 6. Estimación del valor energético de las mezclas ensiladas de corona de piña con cuatro niveles de guineo cuadrado.

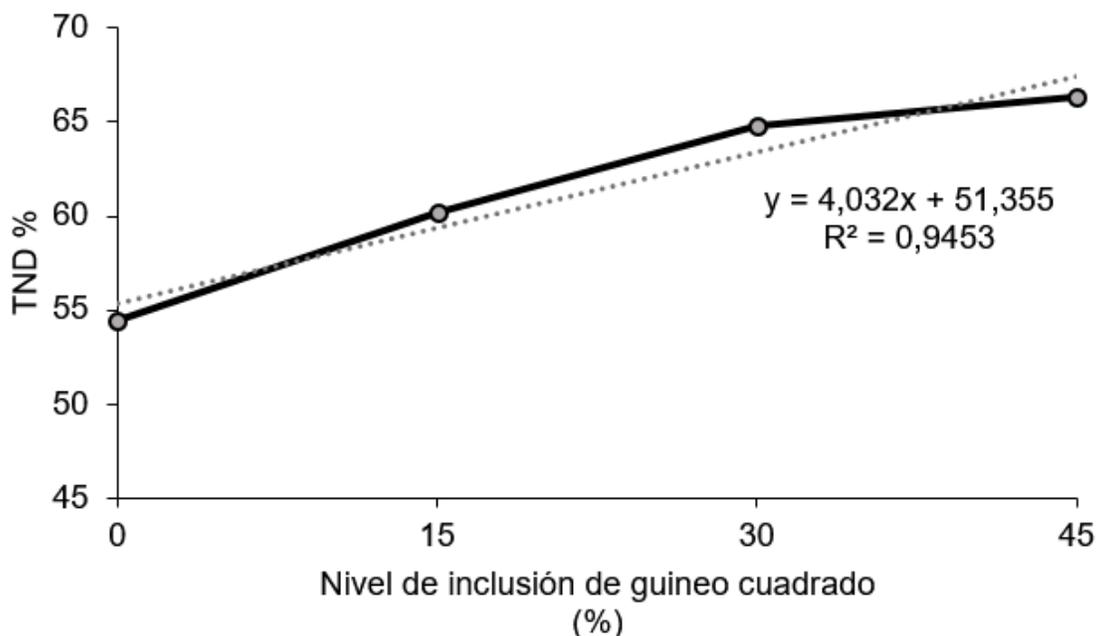
A continuación (Cuadro 16) se detalla sobre el fraccionamiento energético de cada uno de los tratamientos.

**Cuadro 16.** Fraccionamiento energético de las mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.

Tratamiento	TND (%)	Mcal/kg				
		ED	EM	EN <sub>L</sub> (3x)	EN <sub>M</sub>	EN <sub>G</sub>
1	54,43 <sup>a</sup>	2,40 <sup>a</sup>	1,97 <sup>a</sup>	1,21 <sup>a</sup>	1,13 <sup>a</sup>	0,57 <sup>a</sup>
2	60,17 <sup>b</sup>	2,65 <sup>b</sup>	2,23 <sup>b</sup>	1,35 <sup>b</sup>	1,37 <sup>b</sup>	0,79 <sup>b</sup>
3	64,82 <sup>c</sup>	2,86 <sup>c</sup>	2,44 <sup>c</sup>	1,47 <sup>c</sup>	1,55 <sup>c</sup>	0,95 <sup>c</sup>
4	66,32 <sup>c</sup>	2,92 <sup>c</sup>	2,51 <sup>c</sup>	1,51 <sup>c</sup>	1,61 <sup>c</sup>	1,01 <sup>c</sup>

Medias con letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Los resultados demuestran que al incrementarse el nivel de sustitución de guineo cuadrado se incrementó el contenido de TND y de los demás componentes de la energía, además, existe una alta tendencia lineal ( $R^2 = 0,9453$ ). Los tratamientos fueron significativamente distintos entre ellos, a excepción de los tratamientos 3 y 4 que no presentaron diferencias significativas entre sí (Figura 15). Esto se puede deber a que el guineo cuadrado presentó un mayor contenido de CNF que la corona de piña, en especial un mayor contenido de almidón, tal como se mencionó anteriormente (Cuadro 10 y Cuadro 15).



**Figura 14.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el porcentaje de TND de los ensilados.

Al comparar los valores de energía de los ensilados realizados en este experimento con pastos como Estrella Africana (TND 61,37%; ED 2,7 Mcal/kg; EM 2,1 Mcal/kg) (Villalobos-Villalobos y Arce-Cordero 2014), Kikuyo (TND 56,7%; ED 2,5 Mcal/kg; EM 2,1 Mcal/kg) (Sánchez y Soto 1999a) y el ryegrass (TND 61,95%) (Villalobos-Villalobos y Sánchez 2010), se observan bastantes similitudes. Sin embargo, pastos como el Ruzi (TND 53,7%; ED 2,4 Mcal/kg; EM 2,0 Mcal/kg) (Sánchez y Soto 1999a), presentan características energéticas inferiores.

Ahora bien, al contrastar los resultados obtenidos con los mostrados en el Cuadro 17, donde se muestran los valores de TND y EN<sub>L</sub> obtenidos por diferentes autores, se hace notable que los ensilados de rastrojos de piña con urea y minelaza son menos energéticos, sin embargo, ensilados de maní forrajero asociado con maíz, ensilados de maíz con vigna, ensilados de maíz (Costa Rica) y ensilados de rastrojos de piña con pulpa de cítricos presentaron valores semejantes a los descritos en esta investigación. No obstante, los ensilados de maíz estadounidenses son superiores en los aspectos energéticos al compararse con los hallados en este experimento.

**Cuadro 17.** Valor energético en base seca de algunos ensilados.

Ensilados	Fuente	TND (%)	EN <sub>L</sub> (Mcal/kg)
Ensilado de rastrojos de piña con urea y minelaza	Rodríguez et al. (2014)	52,7 – 52,8	1,2(1x)
Ensilado de rastrojos de piña con pulpa de cítricos	López-Herrera et al. (2009)	64,0 – 67,1	1,4 – 1,5(3x)
Ensilado de maíz con vigna	Castillo et al. (2009)	63,9	1,4
Ensilado de maíz con maní forrajero	Betancourt (2004)	63,4	1,4
Ensilado de maíz (Costa Rica)	Cubero et al. (2010)	57,6 – 66,8	1,3 – 1,5(1x)
Ensilado de maíz (EE.UU)	Jurgens (1997)	70,0	1,6

Los ensilados realizados en este experimento cubren entre un 84% y un 94% del aporte energético de un ensilado estadounidense de maíz (Jurgens 1997), al incrementar el nivel de sustitución de guineo cuadrado del 15% al 45% en la mezcla. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que en este experimento se hace uso de materiales de desecho con un menor costo que el maíz; por tanto, tienen un alto potencial para ser utilizados en ganadería. En la Figura 15 se puede observar la aceptación de los ensilados por las vacas



**Figura 15.** Aceptación de los ensilados por las vacas

## 7. Estimación del costo de elaboración de ensilados de corona de piña con cuatro niveles de sustitución de guineo cuadrado y comparación con el ensilado de maíz.

La estimación del costo de los ensilados de corona de piña con guineo cuadrado, se hizo al considerar las necesidades básicas de insumos y de materiales. Para ello se estimó para la elaboración de un silo de montón (10 metros de largo, 6 metros de ancho y 1,5 metros de alto) con una densidad de 650 kg/m<sup>3</sup> para un total de 58,5 toneladas de material ensilado. En el Cuadro 18 se muestran los diferentes rubros utilizados en la estimación.

**Cuadro 18.** Costos de los insumos utilizados para la elaboración de ensilados corona de piña con guineo cuadrado.

<b>Insumo</b>	<b>Costo (₡)</b>
Maquinaria	21.549 / hora
Mano de obra	1.176 / hora
Alquiler de picadora	39.961 / día
Plástico para cobertura	1.333 / m
Corona de piña	5 / kg
Costo racimo cuadrado	40 / kg
Melaza	111 / kg

Para la elaboración de este silo, se requiere de 6 horas de maquinaria, 16 horas de mano de obra, 24 metros lineales de plástico, 585 kg de melaza y el alquiler de una picadora por un día. En cuanto a la corona de piña y el guineo cuadrado la cantidad cambiara en función de la proporción que se use de cada uno. El guineo cuadrado se vende por kilogramo de racimo, y estos tienen un rendimiento en dedos del 89,4% (Carlos Zumbado, MAG, comunicación personal, 16 de noviembre de 2016). En el Cuadro 19 se puede ver el detalle total de los costos para la elaboración de los ensilados.

**Cuadro 19.** Costos para la elaboración de ensilados de corona de piña con cuatro niveles de sustitución de guineo cuadrado.

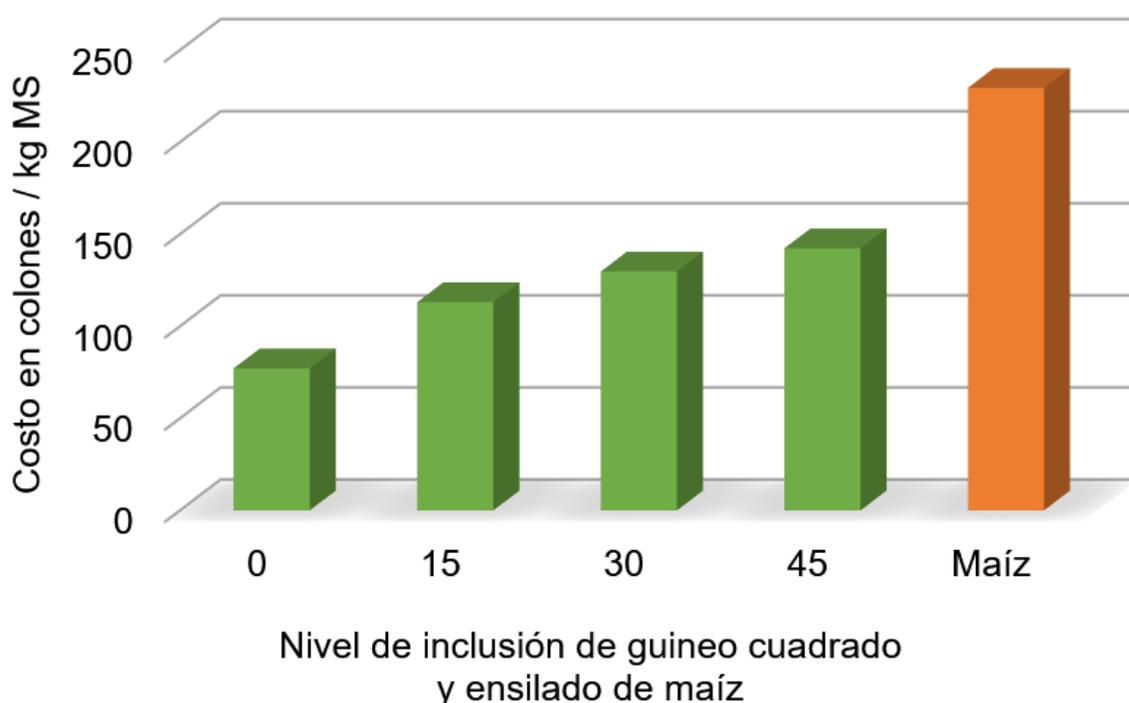
INSUMO	Tratamientos			
	1	2	3	4
Corona de piña	292.500,0	248.625,0	204.750,0	160.875,0
Racimo Cuadrado	-	392.611,1	785.222,4	1.177.833,6
Maquinaria	129.294,0	129.294,0	129.294,0	129.294,0
Mano de obra	18.816,0	18.816,0	18.816,0	18.816,0
Alquiler de picadora	39.961,0	39.961,0	39.961,0	39.961,0
Plástico para cobertura	31.992,0	31.992,0	31.992,0	31.992,0
Melaza	64.935,0	64.935,0	64.935,0	64.935,0
<b>TOTAL</b>	<b>577.498,0</b>	<b>926.234,2</b>	<b>1.274.970,4</b>	<b>1.623.706,6</b>
<b>Colones/ kg MF</b>	<b>9,9</b>	<b>15,8</b>	<b>21,8</b>	<b>27,8</b>
<b>Colones/ kg MS</b>	<b>77,1</b>	<b>113,1</b>	<b>129,7</b>	<b>142,3</b>
<b>Colones/ kg PC</b>	<b>932,5</b>	<b>1.592,8</b>	<b>2.151,4</b>	<b>2.506,0</b>
<b>Colones/ Mcal EN<sub>L</sub></b>	<b>63,7</b>	<b>83,8</b>	<b>88,2</b>	<b>94,3</b>

Tipo de cambio venta del 1 de marzo de 2017: ₡567,96

MF: materia fresca

Con el fin de comparar los costos de los ensilados de este experimento, con el costo de los ensilados de maíz, se hizo uso de los valores dados por Villalobos-Villalobos et al. (2015) ajustados al valor actual, por medio de las variaciones del Índice de Precios al Consumidor (IPC), es decir, el cambio en el poder adquisitivo de los colones a través del tiempo (INEC 2017). El valor de los ensilados de maíz (montón) se encuentra entre ₡24,8 y ₡57,8 ( $\bar{X} = ₡41,3$ )/kg MF, ahora bien, en el supuesto de que estos ensilados tengan un 18% de MS (Cubero et al. 2010), el costo por kg de MS sería de ₡229,5.

Por otro lado, se aprecia que el guineo representa del 42% al 73% del costo de elaboración del ensilado al incrementar su sustitución del 15% al 45% en la mezcla, sin embargo, al comparar el costo por kg de MS de los ensilados realizados en esta investigación con el costo por kg de MS de un ensilado de maíz, se puede notar que los ensilados de maíz son más costosos (Figura 16).



**Figura 16.** Efecto del nivel de sustitución de guineo cuadrado sobre el costo de cada uno de los tratamientos y su comparación con un ensilado de maíz.

Al considerar una vaca de 454 kg de peso vivo, con 90 días de lactancia, 20 kg de producción y 4% de grasa en leche, esta ocuparía para satisfacer sus requerimientos energéticos 22,7 Mcal de EN<sub>L</sub>/día (NRC 2001). Para lograr lo anterior dicha vaca debería consumir 18,8 kg de MS/día del ensilado tratamiento 1 con un costo de ₡1.450; 16,8 kg de MS/día del ensilado tratamiento 2 con un costo de ₡1.900; 15,4 kg de MS/día del ensilado tratamiento 3 con un costo de ₡1.998 y 15 kg de MS/día del ensilado tratamiento 4 con un costo de ₡2.135. En cambio, se ocuparían 16,2 kg de MS/día de ensilado de maíz (18% MS y 1,4 Mcal/kg de EN<sub>L</sub>) con un costo de ₡3.718, lo que demuestra que los ensilados realizados en esta investigación son una opción más barata que el uso de ensilados de maíz.

Por otro lado, al comparar los costos de los ensilados hechos en este experimento con ensilados de leguminosas con guineo cuadrado (₡113,3 – ₡168,5 /kg MS) (Montero 2016), ensilados de rastrojos de piña con urea y minelaza (₡62,4 – ₡139,3 /kg MS) y ensilados de rastrojos de piña con pulpa de cítricos (₡72 – ₡124,9 /kg MS) (López et al. 2009), se encuentra que los valores son muy similares en todos los casos.

## CONCLUSIONES

1. Conforme se aumentó el nivel de sustitución de guineo cuadrado se incrementaron los contenidos de materia seca, lignina, pectinas, almidón, carbohidratos no fibrosos, total de nutrientes digestibles y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca.
2. Los contenidos de ácido acético, ácido propiónico, ácido isobutírico, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, proteína cruda, cenizas y la capacidad buffer disminuyeron conforme se aumentó el nivel de sustitución de guineo cuadrado.
3. No se encontraron diferencias significativas para los contenidos de nitrógeno amoniacal, ácido butírico, ácido láctico, extracto etéreo ni para el pH.
4. Al no haber diferencias significativas en los valores de pH de los ensilados, incluso en los de mayor nivel de sustitución de guineo cuadrado, se puede concluir que los almidones provenientes del guineo cuadrado no participan de forma significativa en el proceso fermentativo.
5. Por las características de este ensilado se puede considerar como un ensilado alto en humedad y energético.
6. En contraste con forrajes tropicales y otros ensilados utilizados en la alimentación de rumiantes, los niveles de FDN, FDA y lignina de los ensilados de esta investigación son bajos, por lo que se promovería el consumo de materia seca, en sistemas donde se ofrecen otras fuentes fibrosas.

7. Al tener un alto contenido energético y un bajo costo de producción, los ensilados de corona de piña con guineo cuadrado, se convierten en una opción viable al uso de ensilados de maíz, además, representan una forma de eliminar los desechos de las piñeras que son considerados un problema de salud pública.

8. Se determinó que el mejor tratamiento es el número 4, que corresponde al 45% de sustitución de guineo cuadrado, esto según criterios zootécnicos (anexo 7), aplicados a cada una de las características que se analizaron en este experimento.

## RECOMENDACIONES

1. Hacer uso de un mayor contenido de azúcares solubles, añadiendo más melaza o bien utilizar un porcentaje de guineos en forma madura en la mezcla, para lograr así un pH menor en el silo.
2. Realizar investigaciones con la adición de materiales secantes altos en proteína como los destilados de maíz o la pollinaza, para así mejorar el contenido de MS y de PC.
3. Estimar el pH y la capacidad buffer de los materiales en los materiales frescos, para poder determinar mejor el comportamiento fermentativo.
4. Realizar mediciones más precisas en cuanto al tiempo de mano de obra y maquinaria necesario para la elaboración de los silos.
5. Realizar pruebas complementarias a la hora de ofrecer los ensilados a los animales, como medir consumo de MS, producción lechera, ganancia de peso y conversión alimenticia.
6. Realizar pruebas con inóculos bacteriales, para medir el efecto que tendrían en este tipo de ensilados.
7. Incorporar y validar análisis de taninos, para medir el efecto que tienen en este tipo de ensilados.
8. Determinar la densidad de ensilajes altos en humedad, como los evaluados en este experimento.

## LITERATURA CITADA

- ADEGBITE O., ONI O., ADEOYE I. 2014. Competitiveness of pineapple production in Osun State, Nigeria. *Journal of Economics and Sustainable Development*. 5(2): 205-214.
- ANKOM TECHNOLOGY. 2004. Assay Procedures: *In Vitro* True Digestibility using the DAISY Incubator.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1996. Starch (Total) in Cereal Products. Amyloglucosidase- $\alpha$ -Amylase Method. AOAC International, USA.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1998. Official methods of analysis of AOAC International. 16th ed, 4th rev. Gaithersburg, MD: AOAC International, USA.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 2012. Official Method 945.10 pH of Beer, Potentiometric Method. AOAC International, USA
- BARQUERO M. 2007. Gran expansión piñera eleva ingresos y causa denuncias. Artículo de Periódico La Nación. Lunes 31 de diciembre de 2007. Página 20A. Costa Rica.
- BELLO J. 2000. Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España. 596p.
- BELYEA R., STEEVENS B., GARNER G., WHITTTIER J., SEWELL H. 1996. Using NDF and ADF to balance diets. Missouri University Extension: G3161. USA.
- BERNDT S. 2002. Composición nutricional y calidad de ensilajes de la zona sur. Tesis presentada para optar por el grado de licenciatura en agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 126 pp.
- BETANCOURT J. 2004. Caracterización nutricional y productiva de material fresco y ensilado de maní forrajero (*Arachis pintoï*) cultivado en asocio con maíz (*Zea mays*), a tres densidades de siembra. Tesis para optar por el grado de Master Scientiae. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 110 pp.

- BETANCOURT M., CLAVERO T., RAZZ R. 2002. Características nutritivas del ensilaje de *Leucaena leucocephala* con diferentes aditivos. Revista Científica. Vol. XII. Suplemento 2. 502-504 pp.
- BETANCOURT M., GONZÁLEZ I., MARTÍNEZ M. 2005. Evaluación de la calidad de los ensilajes. Revista Digital CENIAP HOY 8:1-5.
- BIRBE B., HERRERA P., COLMENARES O., MARTÍNEZ N. 2006. El consumo como variable en el uso de bloques multinutricionales. X Seminario de Pastos y Forrajes. 43-61 pp.
- BOSCHINI C., ELIZONDO J. 2003. Curso teórico y práctico de ensilaje de forrajes. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 1er ed. San José, Costa Rica. 69p.
- CASTILLO M., ROJAS-BOURRILLON A., WINGCHING-JONES R. 2009. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con vigna (*Vigna radiata*). Agronomía Costarricense 33(1): 133-146.
- CHASE L., SNIFFEN C. 1991. Balancing dairy rations to optimize rumen fermentation and milk production. In: Professional Dairy Management Seminar. Dubuque, USA. 5 p.
- CHAVERRA G., BERNAL E. 2000. Ensilaje en la alimentación de ganado vacuno. IICA. Tercer Mundo Editores. Bogotá, Colombia. 65 – 123. pp.
- CHURCH D., POND W., POND K. 2003. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. LIMUSA WILEY. México D.F. 636 pp.
- COMBS D., HOFFMAN P. 2012. *Lactobacillus buchneri* for Silage Aerobic Stability. Department of Dairy Science. University Wisconsin – Madison. Focus on Forage - Vol 3: No. 14.
- COMISIÓN EUROPEA. 2017. Export Helpdesk, Estadísticas. Disponible en: [http://www.exporthelp.europa.eu/thdapp/display.htm?page=st%2fst\\_Estadisticas.html&docType=main&languageId=es](http://www.exporthelp.europa.eu/thdapp/display.htm?page=st%2fst_Estadisticas.html&docType=main&languageId=es)

- CRUZ M., J SÁNCHEZ M. 2000. La fibra en la alimentación del ganado lechero. *Nutrición animal tropical*. Costa Rica. 6(1): 39 – 74.
- CUBERO J., ROJAS-BOURRILLON A., WINGCHING-JONES R. 2010. Uso del inóculo microbial elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo. *Agronomía Costarricense*. Costa Rica. 34(2): 237-250.
- DE LA ROZA-DELGADO B. 2005. El ensilado en zonas húmedas y sus indicadores de calidad. IV Jornadas de Alimentación Animal. Laboratorio de Mouriscade. Pontevedra, España. 20p.
- DEL CURTO T., HESS B., HUSTON J., OLSON K. 2000. Optimum supplementation strategies for beef cattle consuming low-quality roughages in the western United States. *Journal of Animal Science*, 77: 1-16.
- DI RIENZO J., CASANOVES F., BALZARIN I., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C. 2016. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- DRIEHUIS F., VAN WIKSELAAR Y. 2000. The occurrence and prevention of ethanol fermentation in high dry matter grass silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80(6): 711 – 718.
- DURÁN J., MORALES M., YUSTI R. 2005. Formulación para la obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca, variedad MBRA 383. *Revista Científica Guillermo de Ockham*. 3(2): 127-133.
- EASTRIDGE M. 1994. Influence of fiber intake on animal health and productivity. *Tri-State Dairy Nutrition Conference*. 45 p.
- ELIZONDO-SALAZAR J., CAMPOS-GRANADOS C. 2014. Características nutricionales de la cáscara de piña ensilada con cantidades crecientes de urea y heno. *Nutrición Animal Tropical*. Costa Rica. 8(2): 51-71.

- ESTRADA X., IBRAHIM M., CAMERO A., ABARCA S., HIDALGO C. 2000. Degradación ruminal de forrajes tropicales cuando se sustituye King grass (*Pennisetum purpureum*\**Pennisetum typhoides*) por Morera (*Morus alba*). CATIE. Costa Rica. 4 pp.
- EWEN A. 2011. Organic acids in silage: Application note. Agilent Technologies. Estados Unidos. 3p.
- FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas). 2001. Producción y protección vegetal, Volumen 161: Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. 189 pp.
- FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas) 2016. Ganadería. Documento digital disponible en: <http://www.fao.org/gender/gender-home/gender-programme/gender-livestock/es/>. Consultado el 1 de abril de 2016.
- FREITAS M., TAVARES D. 2005. Caracterização do grânulo de amido de bananas (Musa AAA-Nanicão e Musa AAB-Terra). Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas. 25(2): 217-222.
- GARCÉS A. 2004. Detoxificación de banano verde, Revista Lasallista de Investigación. 1(1):48-55.
- GARCÉS A., BERRIO L., RUIZ S., SERNA DE LEÓN J., BUILES A. 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. Revista Lasallista de Investigación. 1(1):66-71.
- GARZÓN A., NAVAS G. 2003. Características nutricionales de fuentes alimenticias y su utilización en la elaboración de dietas para animales domésticos. Boletín Técnico No. 38, CORPOICA. Pronatta, Villavicencio. 47p.
- GIGER-RIVERDIN S., DUVAUX-PONTER., SAUVANT D., MARTIN O., NUNES I., MÜLLER R. 2002. Intrinsic buffering capacity of feedstuffs. Animal Feed Science and Technology. 96. 83-102 p.

- GRANADOS C., ACEVEDO D., CABEZA A., LOZANO A. 2014. Análisis de Perfil de Textura en Plátanos Pelipita, Hartón y Topocho. Información Tecnológica. Colombia. vol.25 no.5
- GUADA J. 1996. Características del sistema de Cornell (cncps) como modelo de valoración proteica y energética para rumiantes. XII Curso de especialización FEDNA. Universidad de Zaragoza. España.
- GUTIÉRREZ F., ROJAS-BOURILLON A., DORMOND H., POORE M., WINGCHING-JONES R. 2003. Características nutricionales y fermentativas de mezclas ensiladas de desechos de piña y avícolas. Agronomía Costarricense. Costa Rica. 27(1): 79-89.
- HAPPI-EMAGA T., ROBERT C., RONKART S., WATHELET B., PAQUOT M. 2008. Dietary fibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties. Bioresour. Technol. 99:4346-4354.
- HARRIS B. 1993. Value of high-fiber alternative feedstuffs as extenders of roughage Sources. Disponible en <http://www.inform.umd.edu>
- HERRERA C. 2002. Evaluación del valor nutricional de los residuos agroindustriales energéticos altos en humedad utilizados para la alimentación del ganado bovino en Costa Rica. Tesis de grado. Universidad de Costa Rica. 129p.
- HERRERA M. 2012. Evaluación fisicoquímica y propiedades funcionales de la harina y almidón nativo de cambur variedad *Musa* aaa subgrupo Cavendish 'william's', para su uso en alimentos. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Venezuela. 107p.
- HIRIART M. 2008. Ensilados. Procesamiento y Calidad. Editorial Trillas. México. p. 110.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2017. Índice de precios al consumidor (IPC), Niveles y variaciones. Costa Rica. Disponible en: <http://indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr>

- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario 2014. Resultado Generales. 1 ed. San José, Costa Rica. 146 p.
- INRA (Institut national de la recherche agronomique).1981. Prévission de la valeur nutritive des aliments des ruminants. I.N.R.A Publications. Paris, France. 590p.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2002. Los subproductos agroindustriales en la alimentación de los rumiantes. Proyecto Pampa Húmeda. Buenos Aires, Argentina. 34p.
- IZQUIERDO H. 2009. Empleo del follaje de plantas de *Musa ssp* como alternativa para la alimentación animal. Temas de Ciencia y Tecnología, enero-abril:49-60.
- JASAITIS D., WOHLT J., EVANS J. 1987. Influence of feed ion content on buffering capacity of ruminant feedstuffs *in vitro*. Journal of Dairy Science 70: 1391-1403.
- JIMÉNEZ-VERA R., GONZÁLEZ-CORTÉS N., MAGAÑA-CONTRERAS A., CORONA-CRUZ A. 2011. Contenido de almidón resistente en alimentos consumidos en el sureste de México. U. Tecnociencia. México. 5 (2): 27-34.
- JONES C., HEINRICHS A., ROTH G., ISHLER V. 2004. From harvest to feed: Understanding silage management. Pennsylvania State University. College of Agriculture Sciences. 2-11 pp.
- JORGENSEN N., CROWLEY J. 1985. Ensilaje de maíz para el ganado. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. P 1-47.
- JURGENS M. 1997. Animal feeding and nutrition. 8 edition. Kendal/Hunt Publishing Co. Dubuque, Iowa. USA. 112 pp.
- KRAIEM K., GARRETT J., MEISKE J., GOODRICH R., MARTEN G. 1990. Influence of method of forage preservation on fibre and protein digestion in cattle given lucerne, birdsfoot trefoil and sainfoin. Anim. Prod. 50: 221.
- KRUSKAL W., WALLIS W. 1952. Use of ranks in one-criterion variance análisis. Journal of American Statistical Association 47(260): 583-621.

- KUNG L., SHAVER R. 2001. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. Focus on Forage. 3(13). 5p.
- LALLO F., NUNES I., GONÇALVES W., ZEOULA L., BARROS F., YOSHIMI F. 2003. Níveis de substituição da silagem de milho pela silagem de resíduos industriais de abacaxi sobre a degradabilidade ruminal em bovinos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia. Brasil. 32(3) 719-726 pp.
- LANGKILDE A., CHAMP M., ANDERSSON H. 2002. Effects of high-resistant-starch banana flour (RS2) on in vitro fermentation and the small-bowel excretion of energy, nutrients, and sterols: an ileostomy study. Am J Clin Nutr. 75:104-111.
- LARA Y., LARA P. 1977. Diferentes niveles de melaza y urea en el ensilaje de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Tesis Magister Scientiae. Universidad de Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 72 p.
- LICITRA G., HERNANDEZ T., VAN-SOEST P. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 57:347-358.
- LÓPEZ-HERRERA M., WINGCHING-JONES R., ROJAS-BOURRILLON A. 2009. Características fermentativas y nutricionales del ensilaje de rastrojo de piña (*Ananas comosus*). Agronomía Costarricense. Costa Rica. 33(1): 1-15.
- LÓPEZ-HERRERA M., WINGCHING-JONES R., ROJAS-BOURRILLON A. 2014. Meta-análisis de los subproductos de piña para la alimentación animal. Agronomía Mesoamericana. Costa Rica. 25(2): 383-392.
- LÓPEZ-HERRERA M., BRICEÑO-ARGUEDAS E. 2017. Efecto de la especie de leguminosa y la fuente de carbohidratos en la calidad física y química de mezclas para ensilaje. Nutrición animal tropical. Costa Rica. 11(1): 52-73
- LÓPEZ-HERRERA M., ROJAS-BOURRILLON A., ZUMBADO C. 2017. Características nutricionales y fermentativas de ensilados de pasto Camerún con plátano Pelipita. Agronomía Mesoamericana. Costa Rica. 28(3):629-642

- LOYOLA N., NÚÑEZ P., ACUÑA C. 2013. Extracción y análisis de pectinas a partir de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. O'Neill. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. 45 (1). pp. 79-89.
- MAGALHÃES S., PINHEIRO F., BARBOSA G., SOUZA L. 2005. Aspectos físico-químicos e fisiológicos do amido resistente. B. CEPBP, Curitiba. 23(1): 109-122.
- MANGADO J. 2006. Como realizar correctamente el ensilaje de maíz. Revista AFIGRA. N° 64. P 56-62.
- MARTIN N., MERTENS D., HALL M., LAUER J. 2008. Fiber digestibility and starch content of corn silage. University of Wisconsin. Idaho Alfalfa and Forage Conference. USA.
- MATA L. 2017. Tabla de composición de materias primas usadas en alimentos para animales. Segunda edición. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigación en Nutrición Animal. Montes de Oca, Costa Rica. 143 pp.
- McDONALD P., HENDERSON A. 1962. Buffering capacity of herbage samples as a factor in silage. Journal of Science of Food and Agriculture 13:395
- McDONALD P. 1981. The Biochemistry of Silage. John Wiley & Sons. Ltd. New York. 226 pp.
- MÉNDEZ-MONTEALVO G., SOLORZA-FERIA J., VELÁSQUEZ M., GÓMEZ-MONTIEL G., PAREDES-LÓPEZ O., BELLO-PÉREZ L. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. Agrociencia. 39:267-274.
- MIER M. 2009. Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero. Tesis de maestría. Universidad de Córdoba, España. 66p.
- MILFORD R., MINSON D. 1965. Intake of tropical pasture species. In Proceedings 9th International Grassland Congress, Sao Paulo, Brasil. pp. 815-822

- MOHAPATRA D., MISHRA S., SUTAR N. 2010. Banana and its by-product utilization: an overview. *J. Sci. Ind. Res.* 69:323-329.
- MONTAÑEZ O., BARCENA R., GONZÁLEZ S., ORTEGA M., COBOS M., AVELLANEDA J. 2006. Evaluación de la capacidad amortiguadora de ingredientes utilizados en la formulación de dietas para rumiantes. *Agronomía mesoamericana* 17(1): 07-10.
- MONTERO E. 2016. Evaluación de las propiedades fermentativas, nutricionales y el costo de elaboración de ensilajes de Poró (*Erythrina poeppigiana*) y Cratylia (*Cratylia argentea*) con niveles crecientes de inclusión de guineo cuadrado (*Musa sp*), para alimentación de rumiantes. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. Montes de Oca, Costa Rica. 60 pp.
- MOORE K., PETERSON M. 1995. Post-Harvest physiology and preservation of forages. Crop Science Society of America Inc. Special publication N° 22. Wisconsin, USA. 91-107 p.
- MORENO A. 1977. Evaluación de ensilajes de pastos Panamá (*Saccharum sinense*), para la alimentación de vacas de doble propósito. Tesis MSc. Universidad de Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba. Costa Rica. 98 pp.
- MÜHLBACH P. 2001. Uso de aditivos para mejorar el ensilaje de los forrajes tropicales. Estudio 9.0. Uso del Ensilaje en el Trópico Privilegiando Opciones para Pequeños Campesinos, FAO. 15p.
- NORIEGA A., SILVA R., GARCÍA M. 2009. Composición química de la pulpa de café a diferentes tiempos de ensilaje para su uso potencial en la alimentación animal. *Zootecnia Trop.*, 27(2): 135-141.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of dairy cattle. 7 ed. National Academy Press, Washington DC., USA.
- OFFNER A., BACH A., SAUVANT D. 2003. Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Animal Feed Sci. Technol.* 106: 81 – 93.
- OJEDA F., CÁCERES O., ESPERANCE M. 1991. Conservación de Forrajes. Editorial Pueblo y Educación. 80p.

- OJEDA F. 1999. La conservación como ensilaje en zonas tropicales. Estación Experimental de pastos y forrajes Indio Hatuey. Matanzas, Cuba. pp. 1-35.
- OJEDA F. 2000. Técnicas de cosecha y de ensilado. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. 35 p.
- OTERO M., HIDALGO L. 2004. Taninos condensados en especies forrajeras de clima templado: efectos sobre la productividad de rumiantes afectados por parasitosis gastrointestinales (una revisión). *Livestock Research for Rural Development* 16 (2).
- OUDE S., DRIEHUIS F., GOTTSCHAL J., SPOESLTRA S. 2001. Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación. Estudio 2.0. Uso del Ensilaje en el Trópico Privilegiando Opciones para Pequeños Campesinos, FAO. 13p. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/005/x8486s/x8486s04.htm#bm04>
- PACHECO E. 2001. Evaluación nutricional de sopas deshidratadas a base de harina de plátano verde. Digestibilidad in vitro del almidón. *Acta Científica Venezolana*. Venezuela. 52: 278-282.
- PALMQUIST D. 1986. Fat supplements for lactating cows. Ohio Dairy Day. The Ohio State University. Wooster, USA. 18 p.
- PÉREZ E., RUIZ M., PEZO D. 1990a. Suplementación de bovinos con banano verde. III. Efecto sobre la degradación ruminal del banano. *Agronomía Costarricense*. Costa Rica 14(1):61-66.
- PÉREZ E., RUIZ M., PEZO D. 1990b. Suplementación de bovinos con banano verde. III. Efecto sobre algunos parámetros de fermentación ruminal. *Agronomía Costarricense*. Costa Rica 14(1):67-72.
- PIETROSEMOLI S., VENTURA M., GUTIERREZ G. 1997. Adición de urea y melaza en la preparación de ensilaje de *Brachiaria brizantha* para bovinos en crecimiento. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 5 (supl 1): 205 – 207.

- PRESTON T., LENG R. 1990. Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles: Aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición en el trópico. Círculo de Impresores Ltda. Cali, Colombia. 312 p.
- RAMÍREZ-ORDUÑA R., RAMÍREZ-LOZANO R., LÓPEZ-GUTIÉRREZ F. 2002. Factores estructurales de la pared celular del forraje que afectan su digestibilidad. Ciencia UANL. México. 5(2): 189-189.
- RAVI I., MUSTAFFA M. 2013. Starch and amylose variability in banana cultivars. Indian Journal of Plant Physiology 18(1): 83 – 87.
- REBOLLEDO A., PÉREZ A., REBOLLEDO I., BECERRIL A. 2006. Rendimiento y calidad de fruto de cultivares de piña en densidades de plantación. Rev. Fitotec. México. 29: 55-62.
- RELLING A., MATTIOLI G. 2003. Fisiología Digestiva y Metabólica de los Rumiantes. Editorial EDULP. La Plata, Argentina. 74 pp.
- REYNA L., ROBLES R., REYES M., MENDOZA Y., ROMERO J. 2004. Hidrólisis enzimática del almidón. Rev. Per. Quím. Ing. Quím. Vol. 7 N° 1. 40-44
- RODRÍGUEZ S., LÓPEZ-HERRERA M., WINGCHING-JONES R, ROJAS-BOURRILLÓN A. 2014. Adición de melaza deshidratada y urea en ensilados de rastrojos de piña. Agron. Mesoam. Costa Rica. 25(2):313-321.
- ROJAS-BOURRILLON A. 1985. Effect of rolled corn silage on digestion of nutrients and feedlot performance of growing steers. Tesis de Maestría. Iowa State University. United States. p. 93.
- ROJAS-BOURRILLON A. 1995. Conceptos básicos en nutrición de rumiantes. Universidad de Costa Rica. San Pedro, Costa Rica. 178p.
- ROJAS-BOURRILLON A., CHÁVEZ A., ARROYO C. 1990. Características nutricionales y fermentativas del ensilaje de fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes*). Agronomía Costarricense. Costa Rica. 14(2). 157-160 pp.

- ROJAS-BOURRILLON A., UGALDE H., AGUIRRE D. 1998. Efecto de la adición del fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes*), sobre las características nutricionales del pasto gigante (*Pennisetum purpureum*). *Agronomía Costarricense*. Costa Rica. 22(2): 145-151.
- ROJAS-BOURRILLON A., QUAN A., ROJAS M., VILLAREAL M. 1999. Validación del uso del maní forrajero (*Arachis pinto*) en la crianza de terneras de lechería. II. Utilización como forraje de corte. *Agronomía Costarricense*. Costa Rica. 23(1): 13-19.
- ROJAS-BOURRILLON A. 2005. Desechos agroindustriales altos en humedad utilizados en la alimentación de rumiantes. *ECAG Informa*. Costa Rica. 34: 18-21.
- ROJAS-BOURRILLON A. 2006. Limitaciones y oportunidades para el desarrollo de la producción pecuaria orgánica en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 30(2):129-135.
- ROJAS-BOURRILLON A. 2011. Alimentación de bovinos con rastrojos de piña. *UTN Informa*. Costa Rica. 58: 16-20.
- ROJAS T., CALVO B., PORRAS S., CHAVARRÍA A. 2003. Problemática de la mosca del establo, *Stomoxys calcitrans*, originada por los desechos del cultivo de la piña (*Ananas comosus*) en la región Huetar Atlántica de Costa Rica. I Parte. *Boletín de Parasitología* 4(3):1-3. Universidad Nacional. Costa Rica.
- RUIZ M., RUIZ A. 1990. Nutrición de rumiantes: Guía metodológica de investigación. 1ª edición, IICA-RISPAL. Costa Rica. 344p.
- SAJILATA M., SINGHAL R., KULKARNI P. 2006. Resistant starch-A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 5:1-17
- SÁNCHEZ J. 2006. Valor nutricional de los forrajes de Costa Rica. *Boletín Centro de Investigaciones en Nutrición Animal*. Universidad de Costa Rica. San Pedro, Costa Rica.

- SÁNCHEZ J., CARAVEO F. 1996. El sistema-producto piña en México: situación, tendencias, problemática y alternativas. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 107p.
- SÁNCHEZ J., SOTO H. 1993. Estimated values of net energy for lactation of tropical pastures. *Journal of Animal Science* 76(1). 215p.
- SÁNCHEZ J., SOTO H. 1996. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. I. Materia seca y componentes celulares. *Revista Nutrición Animal Tropical*. Costa Rica. 3(1): 3-18
- SÁNCHEZ J., SOTO H. 1997. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. II. Componentes de la pared celular. *Revista Nutrición Animal Tropical*. Costa Rica. 4(1): 7-19.
- SÁNCHEZ J., SOTO H. 1999a. Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de San Carlos. III. Energía para la producción de leche. *Revista Nutrición Animal Tropical*. Costa Rica. 5(1): 31-49.
- SÁNCHEZ J., SOTO H. 1999b. Contenido de energía estimado para el crecimiento del ganado bovino, en los forrajes del trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. Costa Rica. 23(2): 173-178.
- SÁNCHEZ J., SOTO H. 1999c. Niveles de energía estimada en los forrajes de un distrito de mediana producción lechera, Fortuna de San Carlos en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. Costa Rica. 23(2): 179-185
- SÁNCHEZ N., LEDIN I. 2006. Effect of feeding different levels of foliage *Cratylia argentea* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and milk composition. *Tropical Animal Health and Production*. 38:343-351.
- SCICOLONE G. 2002. Restauración de la Pintura Contemporánea. Editorial NIREA. Guipúzcoa, España. 180-182.
- SODERLUND S. 1995. Effect of moisture level and fermentation components of ensiled feedstuffs on voluntary dry matter intake. *Okla. Agric. Exp. Sta. Misc. Publ.* P-942:264

- SOLANO H. 1997. Efecto de diferentes concentraciones de taninos sobre la flora microbiana ruminal en la degradabilidad *in vitro* del forraje de alfalfa. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 71p.
- SUKHIJA P., PALMQUIST D. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 36 (6), pp 1202–1206.
- THOMPSON D. 2000. Strategies for the manufacture of resistant starch. *Trends in Food Science & Technology*. 11 (7): 245-253.
- TITTERTON M., BAREEBA F. 2001. Ensilaje de gramíneas y leguminosas en los Trópicos, pp. 53-56. In: L. Mannerje (eds). *Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Serie Estudios FAO. Producción y protección vegetal*. 161. FAO, Roma. 189 pp.
- TOBÍA C., VARGAS E. 2000. Inóculos bacterianos: Una alternativa para mejorar el proceso fermentativo en los ensilajes tropicales. *Nutrición Animal Tropical. Costa Rica*. 6(1): 129-143.
- TOBÍA C., ROJAS A., VILLALOBOS E., SOTO H., URIBE L. 2004. Sustitución parcial del alimento balanceado por ensilaje de soya y su efecto en la producción y calidad de la leche de vaca, en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense. Costa Rica*. 28(2):27-35.
- VAN SOEST P., ROBERTSON J., LEWIS B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysacchrides in relation to animal nutrition. *Dairy Sci*. 74, 3583-3597.
- VELÁSQUEZ A. 2005. Extracción de taninos del banano verde de rechazo. Corporación Universitaria Lasallista. *Revista Lasallista de Investigación*. Antioquia, Colombia. 2(2): 8-14.

- VILLALOBOS-VILLALOBOS L., SÁNCHEZ J. 2010. Evaluación agronómica y nutricional del pasto Ryegrass Perenne Tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. II. Valor nutricional. *Agronomía. Costarricense. Costa Rica.* 34(1): 43-52.
- VILLALOBOS-VILLALOBOS L., ARCE-CORDERO J. 2014. Evaluación agronómica y nutricional del pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en la zona de Monteverde, Puntarenas, Costa Rica. II. Valor Nutricional. *Agronomía Costarricense* 38(1): 133-145.
- VILLALOBOS-VILLALOBOS L., ARCE-CORDERO J., WINGCHING-JONES R. 2015. Costos de producción de ensilados de pastos tropicales elaborados en lecherías de Costa Rica. *Revista Nutrición Animal Tropical. Costa Rica.* 9(2): 27-48.
- VILLALOBOS R., JIMÉNEZ E., HERNÁNDEZ K., CÓRDOBA J., SOLANO P. 2013. Descripción del clima del Cantón de Upala. Ministerio de Ambiente y Energía. Instituto Meteorológico Nacional. Costa Rica. 18 p.
- WANAPAT M., SRIWATTANASOMBAT P., CHANTAI S. 1985. Utilización de dietas conteniendo paja de arroz sin tratar, paja de arroz tratada con urea-amoniaco y Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes* Mart.). *Producción Animal Tropical.* 10:53-60.
- WATTIAUX M. 2000. Introducción al proceso de ensilaje. *Novedades Lácteas.* Instituto Babcock, Universidad de Wisconsin. 12 p.
- WEINBERG Z., MUCK R. 1996. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiological Views* 19(1): 53-68.
- WEISS W., CONRAD H., St PIERRE N. 1992. A theoretically based model for predicting total digestible nutrient values of forage and concentrates. *Animal Feed Sci. Tech.* 39: 95 -110

- WEISS W. 2004. Fine-tuning energy calculations. En: M. Eastridge, editor, Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference. Purdue University, Michigan State University, Ohio State University. April 27 – 28. Fort Wayne, Indiana, United States. p. 131-142.
- WINGCHING-JONES R., ROJAS-BOURRILLON A. 2007. Dinámica fermentativa y fraccionamiento protéico durante el ensilaje de maní forrajero (CIAT 17434). Revista Agronomía Mesoamericana. 18(1). 70 pp.
- WOOLFORD, M. 1984. The Silage Fermentation. Microbiological Series, No.14. Nueva York, USA.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Evaluación organoléptica de todas las mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.

Muestra	Color		Olor		Textura		Observaciones
0 % (R1)	4		4		4		Posible contaminación con sal
0 % (R2)	4		4		4		-
0 % (R3)	4		4		4		Posible contaminación con sal
0 % (R4)	3		4		4		Bolsa Perforada
0 % (R5)	4		4		4		-
15 % (R1)	3		3		4		-
15 % (R2)	4		4		4		Notablemente más seco
15 % (R3)	4		4		4		-
15 % (R4)	4		4		4		-
15 % (R5)	3		4		4		Posible contaminación con sal
30 % (R1)	3		4		4		Bolsa rota
30 % (R2)	3		4		4		Posible contaminación con sal
30 % (R3)	4		4		4		-
30 % (R4)	4		4		4		-
30 % (R5)	4		4		4		-
45 % (R1)	2		4		4		Bolsa Perforada Presencia de larvas
45 % (R2)	1*	2**	2*	3**	2*	4**	Hueco en parte superior
45 % (R3)	2		4		4		-
45 % (R4)	-		-		-		Totalmente Dañado
45 % (R5)	4		4		4		-

\*Parte dañada \*\*Parte buena

- El guineo cuadrado se encontraba oxidado por lo que al aumentar el contenido de este, el color del ensilado se volvía más oscuro.
- 30% y 45% se encontraban más compactados que 15% y 0%

**Anexo 2.** Composición nutricional de todas las repeticiones de mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.

Muestra	Almidón resistente	Almidón Total*	PC	EE	Cenizas	DIVMS	%MS
0 % (R1)	0,90	1,67	7,86	3,07	31,14	84,60	
0 % (R2)	1,09	2,02	8,78	3,30	18,78	77,80	
0 % (R3)	1,01	1,88	7,88	3,36	20,82	77,90	
0 % (R4)	0,88	1,62	8,56	3,73	17,29	78,30	
0 % (R5)	1,10	2,04	8,26	3,31	17,69	78,90	
15 % (R1)	4,12	7,63	7,03	2,90	15,58	80,50	
15 % (R2)	2,00	3,70	7,71	4,89	18,63	80,30	
15 % (R3)	3,83	7,09	7,48	3,70	14,22	80,60	
15 % (R4)	2,65	4,91	6,85	4,11	18,15	82,10	
15 % (R5)	4,01	7,42	6,73	3,40	17,07	83,70	
30 % (R1)	6,55	12,12	5,78	4,00	17,11	86,20	
30 % (R2)	6,01	11,12	5,85	3,47	18,75	86,90	
30 % (R3)	5,39	9,98	6,47	3,60	9,93	83,20	
30 % (R4)	2,14	3,96	5,59	3,63	16,09	84,00	
30 % (R5)	5,50	10,19	6,45	3,55	10,58	84,40	
45 % (R1)	7,26	13,44	5,58	3,92	17,49	82,80	
45 % (R2)	7,26	13,44	5,72	3,47	10,17	85,70	
45 % (R3)	7,18	13,29	5,32	4,04	14,63	84,00	
45 % (R5)	7,25	13,42	6,09	4,14	12,18	83,10	

MS: materia seca. DIVMS: digestibilidad in vitro de la materia seca. PC: proteína cruda. EE: extracto etéreo. \*resistente + degradable

**Anexo 3.** Fraccionamiento de la fibra de todas las repeticiones de mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.

Muestra	FDA	FDN	NIDA	NIDN	Lig	DIVFDN	Pectinas
	%MS						
0 % (R1)	25,50	43,50	0,14	0,26	1,30	64,70	1,00
0 % (R2)	30,00	51,00	0,18	0,30	2,00	56,50	4,10
0 % (R3)	32,50	53,00	0,19	0,30	1,90	58,30	3,80
0 % (R4)	31,90	54,20	0,19	0,30	2,10	59,90	3,60
0 % (R5)	33,10	55,00	0,17	0,33	2,10	61,60	7,00
15 % (R1)	25,20	41,40	0,17	0,36	2,80	52,80	10,20
15 % (R2)	29,30	48,80	0,20	0,37	1,90	59,70	2,70
15 % (R3)	28,40	49,40	0,22	0,36	2,40	60,70	10,30
15 % (R4)	26,80	44,90	0,22	0,36	2,20	60,10	16,10
15 % (R5)	23,50	38,90	0,22	0,36	2,20	58,20	17,40
30 % (R1)	19,60	32,90	0,24	0,38	2,70	56,80	25,40
30 % (R2)	19,60	31,90	0,25	0,38	2,60	59,10	16,50
30 % (R3)	21,20	35,30	0,30	0,41	1,10	52,40	21,30
30 % (R4)	18,20	29,00	0,30	0,40	2,90	45,00	19,10
30 % (R5)	22,00	35,90	0,29	0,42	3,10	56,50	23,20
45 % (R1)	17,20	27,00	0,31	0,45	3,00	36,40	28,80
45 % (R2)	18,00	28,50	0,32	0,48	3,40	49,70	18,70
45 % (R3)	17,60	27,70	0,29	0,46	2,90	42,20	32,10
45 % (R5)	18,70	31,30	0,25	0,48	3,00	46,00	10,10

FDN: fibra detergente neutro. FDA: fibra detergente ácido. NIDA: Nitrógeno insoluble en detergente ácido. NIDN: Nitrógeno insoluble en detergente neutro. Lig: lignina. DIVFDN: digestibilidad in vitro de la FDN.

**Anexo 4.** Características fermentativas de todas las repeticiones de mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.

<b>Muestra</b>	<b>MS (%)</b>	<b>Nitrógeno Amoniacal (% del nitrógeno total)</b>	<b>pH (unidades de pH)</b>	<b>Capacidad Buffer (mmol NaOH/ 100 g de MS)</b>
0% (R1)	14,00	0,90	4,51	129,90
0% (R2)	11,50	1,30	4,67	170,30
0% (R3)	14,60	1,00	4,70	137,90
0% (R4)	11,80	1,20	4,63	167,60
0% (R5)	12,10	1,40	4,72	168,00
15% (R1)	13,80	1,40	4,62	136,10
15% (R2)	13,10	1,10	4,68	144,40
15% (R3)	13,50	1,30	4,68	143,30
15% (R4)	14,60	1,50	4,69	140,70
15% (R5)	15,00	1,50	4,65	132,90
30% (R1)	18,00	1,40	4,38	107,50
30% (R2)	17,60	1,50	4,59	110,00
30% (R3)	15,00	1,40	4,55	132,50
30% (R4)	17,90	1,40	4,63	99,90
30% (R5)	15,50	1,10	4,62	128,60
45% (R1)	19,90	1,20	4,57	89,70
45% (R2)	17,30	0,90	4,71	100,80
45% (R3)	18,80	1,20	4,60	102,30
45% (R5)	22,00	1,30	4,74	76,60

**Anexo 5.** Contenido de ácidos orgánicos en todas las mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.

Muestra	HAOc	HPOc	HiBOc	HBOc	HLOc
	%MS				
0% (R1)	0,65	0,53	0,01	0,18	0,00
0% (R2)	0,81	0,47	0,03	0,39	0,17
0% (R3)	0,66	0,40	0,03	0,36	0,28
0% (R4)	0,89	0,37	0,03	0,30	0,13
0% (R5)	0,82	0,37	0,03	0,49	0,23
15% (R1)	0,68	0,45	0,03	0,39	0,17
15% (R2)	0,77	0,33	0,03	0,27	0,24
15% (R3)	0,63	0,39	0,03	0,49	0,20
15% (R4)	0,59	0,29	0,03	0,33	0,11
15% (R5)	0,59	0,37	0,02	0,28	0,00
30% (R1)	0,45	0,26	0,01	0,33	0,08
30% (R2)	0,53	0,31	0,02	0,38	0,17
30% (R3)	0,50	0,40	0,02	0,39	0,12
30% (R4)	0,44	0,29	0,02	0,30	0,11
30% (R5)	0,46	0,28	0,02	0,42	0,09
45% (R1)	0,28	0,18	0,01	0,28	0,01
45% (R2)	0,32	0,23	0,02	0,41	0,18
45% (R3)	0,25	0,20	0,02	0,30	0,32
45% (R5)	0,45	0,22	0,02	0,30	0,26

HAOc: Ácido acético. HPOc: Ácido propiónico. HiBOc: Ácido isobutírico. HBOc: Ácido butírico. HLOc: Ácido láctico.

**Anexo 6.** Fraccionamiento energético de todas las repeticiones de mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado.

Tratamiento	CNF	TDN	ED	EM	EN <sub>L</sub>	EN <sub>M</sub>	EN <sub>G</sub>
	(%)		(Mcal/Kg)				
0 % (R1)	16,06	47,70	2,10	1,67	1,05	0,84	0,30
0 % (R2)	20,02	56,48	2,49	2,07	1,26	1,21	0,65
0 % (R3)	16,82	54,18	2,39	1,96	1,21	1,12	0,56
0 % (R4)	18,10	57,38	2,53	2,11	1,29	1,25	0,68
0 % (R5)	17,80	56,42	2,49	2,06	1,26	1,21	0,65
15 % (R1)	35,34	60,34	2,66	2,24	1,36	1,37	0,79
15 % (R2)	22,28	59,41	2,62	2,20	1,34	1,33	0,76
15 % (R3)	28,24	59,19	2,61	2,19	1,33	1,33	0,75
15 % (R4)	27,45	60,93	2,69	2,26	1,37	1,40	0,81
15 % (R5)	36,15	60,97	2,69	2,27	1,37	1,40	0,82
30 % (R1)	42,59	62,45	2,75	2,33	1,41	1,46	0,87
30 % (R2)	42,41	60,56	2,67	2,25	1,36	1,38	0,80
30 % (R3)	47,26	71,00	3,13	2,71	1,62	1,79	1,16
30 % (R4)	48,19	63,53	2,80	2,38	1,44	1,50	0,91
30 % (R5)	46,15	66,55	2,93	2,51	1,51	1,62	1,01
45 % (R1)	48,82	63,04	2,78	2,36	1,42	1,48	0,89
45 % (R2)	55,14	68,61	3,02	2,61	1,56	1,70	1,08
45 % (R3)	51,19	66,05	2,91	2,49	1,50	1,60	1,00
45 % (R5)	49,28	67,57	2,98	2,56	1,54	1,66	1,05

CNF: carbohidratos no fibrosos. TND: total de nutrientes digestibles. ED: energía digestible. EM: energía metabolizable. EN<sub>L</sub>: energía neta de lactancia. EN<sub>M</sub>: energía neta de mantenimiento. EN<sub>G</sub>: energía neta de ganancia.

**Anexo 7.** Calificación general de las mezclas ensiladas de corona de piña con niveles crecientes de guineo cuadrado, según criterios zootécnicos.

Característica	Tratamientos			
	1	2	3	4
MS	1	1	2	3
Nitrógeno Amoniacal	1	1	1	1
pH	1	1	1	1
Capacidad Buffer	1	1	2	3
HAOc	1	2	3	4
HPOc	1	2	3	4
HiBOc	2	2	1	1
HBOc	1	1	1	1
HLOc	1	1	1	1
FDN	1	2	3	4
FDA	1	2	3	3
Lig	1	1	2	3
Pectinas	1	1	2	2
Almidón total	1	2	3	4
CNF	1	2	3	4
PC	3	2	1	1
EE	1	1	1	1
Cenizas	2	1	1	1
DIVMS	1	1	2	2
TND	1	2	3	3
EN <sub>L</sub>	1	2	3	3
€/ kg MS	4	3	2	1
<b>TOTAL</b>	<b>29</b>	<b>34</b>	<b>44</b>	<b>51</b>

\*En la calificación se tomó como 1 el valor menos deseado y 4 el más deseado, por lo que el tratamiento con el puntaje más alto fue escogido como el mejor. En los casos que se repiten números es debido a que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ).