

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ciencias Agroalimentarias
Escuela de Zootecnia

Valoración nutricional de los rastrojos de piña (*Ananas comosus*) como una alternativa forrajera de bajo costo para la alimentación del ganado.

Michael López Herrera

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

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2008

Esta tesis fue aceptada por la Comisión 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.

_____ Director de Escuela	M.Sc. Carlos Arroyo Oquendo
_____ Director de Tesis	M.Sc. Augusto Rojas Bourrillon
_____ Miembro del Tribunal	M.Sc. Rodolfo WingChing Jones
_____ Miembro del Tribunal	Ing. Luis Pineda Cordero
_____ Miembro del Tribunal	Ing. Luis Villalobos Villalobos
_____ Sustentante	Michael López Herrera

DEDICATORIA

Le dedico esta investigación a Dios porque es quien pone la semilla en el pensamiento de la humanidad permitiendo así las conclusiones que llevan a trabajos como este.

También a mi esposa Carmen Laura, ya que es mi fuente de inspiración para buscar siempre metas más altas y no quedarme estancado en lo común, con su apoyo es que se ha logrado la conclusión de esta investigación y con su consejo he sabido esperar y tener paciencia a pesar de las situaciones adversas,

Por último, pero no menos importantes, a mis padres por brindarme su apoyo durante mi paso por la vida de estudiante y sobre todo proporcionarme la formación para no darme por vencido apostando por una vida de estudios profesionales.

AGRADECIMIENTOS

A Don Augusto Rojas gracias por concederme el proyecto y creer en mi capacidad tanto académicamente como profesionalmente.

A Don Rodolfo WingChing por las ideas, correcciones y horas de trabajo empleadas para la elaboración de este trabajo de investigación.

Para Adrián Martínez, Melina, Pamela y el resto del personal de los laboratorios del CINA que me brindaron su ayuda para agilizar los análisis realizados para esta investigación.

Finalmente agradezco al resto de las personas involucradas o no, que hayan participado en la finalización de este trabajo de investigación.

INDICE GENERAL

TRIBUNAL EVALUADOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE GENERAL	v
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	4
I. CULTIVO DE LA PIÑA	4
II. USO DE LA PIÑA EN LA ALIMENTACION ANIMAL	10
III. EL PROCESO DE ENSILAJE	14
a. CARACTERISTICAS FERMENTATIVAS	15
b. CAPACIDAD BUFFER	15
c. NITROGENO AMONIACAL	16
d. CARACTERISTICAS FISICAS	17
e. FACTORES QUE FAVORECEN UN ADECUADO PROCESO DE ENSILAJE	18
i. TEMPERATURA DEL PROCESO	18
ii. PORCENTAJE DE MATERIA SECA DEL MATERIAL	18
iii. CONCENTRACION DE CARBOHIDRATOS SOLUBLES	19
iv. TAMAÑO DE PARTICULA	19
f. TIPOS DE FERMENTACION	19
g. ETAPAS DEL PROCESO	26
h. PERIODO DE DETERIORO	27
i. MANEJO DEL PROCESO FERMENTATIVO	28
j. ADITIVOS PARA ENSILAJES	29

OBJETIVOS	
I. GENERAL	33
II. ESPECIFICOS	33
MATERIALES Y METODOS	34
RESULTADOS Y DISCUSION	40
1. COMPOSICION NUTRICIONAL DE LOS RASTROJOS DE PIÑA FRESCOS (SIN ENSILAR)	40
2. CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS DE LOS MATERIALES ENSILADOS	
a. COLOR	45
b. OLOR	45
c. TEXTURA	46
d. GRADO DE HUMEDAD	46
3. CARACTERISTICAS FERMENTATIVAS DEL ENSILAJE DE RASTROJOS DE PIÑA	
a. pH	47
b. CAPACIDAD BUFFER	49
c. NITROGENO AMONIACAL	52
4. CARACTERISTICAS NUTRICIONALES DE LOS ENSILADOS DE RASTROJOS DE PIÑA	
a. MATERIA SECA	55
b. PROTEINA CRUDA	57
c. EXTRACTO ETereo	60
d. COMPONENTES DE LA PARED CELULAR	62
i. FIBRA DETERGENTE NEUTRO	62
ii. FIBRA DETERGENTE ACIDO	65
iii. HEMICELULOSA, CELULOSA Y LIGNINA	67
d. CARBOHIDRATOS NO FIBROSOS	69
a. CENIZAS	71
b. DIGESTIBILIDAD IN VITRO DE LA MATERIA SECA	73
5. ESTIMACION DEL VALOR ENERGETICO DE LOS ENSILADOS DE RASTROJOS DE PIÑA	75

6. ESTIMACION DEL COSTO EN LA ELABORACION DEL ENSILADO DE RASTROJOS DE PIÑA.	81
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	90
ANEXO 1.	93
LITERATURA CONSULTADA	94

INDICE DE CUADROS

CUADRO	TITULO	
1	Concentración mineral de la hoja D de una planta de piña de 7 meses de crecimiento.	6
2	Masa vegetal y nutrientes presentes en los rastrojos de piña, cultivar Española roja, después de la tercera cosecha	7
3	Composición nutricional de los subproductos de piña obtenidos en Hawaii	13
4	Categorías de aditivos para ensilajes	31
5	Composición nutricional de las materias primas utilizadas en la elaboración de ensilajes	32
6	Composición nutricional de los rastrojos de piña y los tratamientos con aditivos antes de ensilar	40
7	Valores estimados de hemicelulosa y celulosa para los tratamientos	67
8	Resultados obtenidos en la estimación del valor energético en base seca de los ensilados de rastrojos de piña	75
9	Valor energético en base seca de pastos utilizados en los sistemas productivos nacionales y heno de piña.	78
10	Valor energético en base seca de materiales ensilados en sistemas nacionales y de Estados Unidos.	79
11	Estructura de costos para la elaboración de los ensilados de rastrojos de piña con adición de dos fuentes de carbohidratos	84

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	TITULO	
1	Fermentación de la glucosa y la fructosa por las bacterias homofermentativas (productoras de A. láctico)	21
2	Fermentación de la glucosa por bacterias homofermentativas que también son Heterofermentativas	22
3	Fermentación de la fructosa por bacterias homofermentativas que también son Heterofermentativas	23
4	Fermentación de la glucosa y el lactato en A. butírico por influencia de clostridia	25
5	Variación del pH en los ensilados de rastrojos de piña.	48
6	Variación de la capacidad buffer en los ensilados de rastrojos de piña.	51
7	Variación del contenido de nitrógeno amoniacal (NH ₃ /N total) en los ensilados de rastrojos de piña.	53
8	Variación del contenido de MS en los ensilados de rastrojos de piña.	56
9	Variación del contenido de proteína cruda en los ensilados de rastrojos de piña.	58
10	Variación del contenido de EE en los ensilados de rastrojos de piña.	61
11	Variación del contenido de FDN en los ensilados de rastrojos de piña.	64

12	Variación del contenido de FDA en los ensilados de rastrojos de piña.	66
13	Variación del contenido de lignina en los ensilados de rastrojos de piña.	69
14	Variación del contenido de CNF en los ensilados de rastrojos de piña.	70
15	Variación del contenido de cenizas en los ensilados de rastrojos de piña.	72
16	Variación del contenido de DIVMS en los ensilados de rastrojos de piña.	74
17	Variación del contenido de NDT y el resto de las fracciones energéticas en los ensilados de rastrojos de piña.	76

RESUMEN

Se determinó la composición nutricional de los rastrojos de piña (hojas, hijos y tallo) tanto frescos como ensilados, para obtener una mejor apreciación de los componentes de la planta y comprobar si pueden ser utilizados en la alimentación de animales rumiantes. El ensilaje del material se realizó mediante la técnica de microsilos, donde se establecieron diferentes combinaciones de melaza con pulpa de cítricos deshidratada (fuentes de carbohidratos) y un control absoluto sin aditivos. La composición nutricional de los rastrojos de piña tanto los frescos como los ensilados, se afectó de acuerdo a la adición de carbohidratos y al tipo de carbohidrato. El contenido de PC, FDN, FDA, lignina, cenizas, N-NH₃/NT, capacidad buffer y pH fue menor al incrementar los niveles de carbohidratos añadidos. Por otra parte el contenido de MS, EE, DIVMS, CNF, NDT y el resto de las fracciones energéticas se concentró al aumentar la inclusión de fuentes de carbohidratos. Sin embargo la composición nutricional de los rastrojos de piña se puede comparar a la de los pastos tropicales y los ensilados obtenidos al almacenar distintos forrajes producidos en el trópico. Los rastrojos de piña ensilados con más de 15% de pulpa de cítricos deshidratada presentaron un contenido de energía similar al que presentan los ensilados de maíz. Además se elaboró una estructura de costos para comparar la elaboración de los ensilados de

rastrojos de piña respecto al valor que tienen los ensilados de maíz, siendo los primeros menos costosos ya sea por kilo de materia fresca o por kilo de materia seca.

INTRODUCCIÓN

El ensilaje es una técnica que permite mantener la disponibilidad del componente forrajero durante la estación seca o lluviosa, condiciones que reducen el rendimiento por hectárea de las pasturas.

El ensilado de maíz es una de las alternativas más utilizadas en condiciones nacionales e internacionales para la suplementación de animales rumiantes, debido a su concentración energética y contenido de materia seca, características que lo han consolidado como un material de primera opción para ensilar. Sin embargo los altos costos de elaboración, han forzado a los productores a buscar otras alternativas que permitan la reducción de costos por medio de la sustitución parcial o total del ensilado de maíz en las raciones de los animales.

Se ha demostrado que la técnica del ensilaje permite preservar desechos agrícolas altos en carbohidratos, como es el caso del pejibaye (fruto), pulpa de cítricos, yuca y camote (Gutiérrez *et al.* 2003). Por tal motivo, el uso del ensilaje como medio para conservar desechos agrícolas, permite acoplar esta práctica con el final de la época de cosecha de las plantaciones de piña, lo que permite transformar un desecho como los rastrojos en una fuente de alimento para los animales rumiantes.

En Costa Rica el cultivo de la piña (*Ananas comosus*) ha experimentado un incremento en los últimos años, que le ha permitido establecerse como una alternativa de diversificación agrícola y una importante fuente de divisa. Esto debido a que en Costa Rica se produce cerca del 40% de las importaciones de esta fruta por parte de la Unión Europea y el 90% de las importaciones en América del Norte.

El crecimiento que ha experimentado el sector piñero durante los últimos ocho años en número de productores y áreas de producción, indican un incremento de 27.500 hectáreas sembradas, pasando de 12.500 ha en el año 2000 a 40.000 ha para el año 2007 (Barquero 2007). Tal desarrollo está concentrado en empresas transnacionales, y solo el 4% de la producción anual (1.100.139 toneladas métricas para el 2007) se estima que es aportada por medianos y pequeños productores (aproximadamente 1000) (Barquero 2007).

El mayor crecimiento que ha experimentado el sector piñero durante este periodo, cuantificado en número de productores y áreas de producción, ha sido en la Región Huetar Norte de nuestro país, incrementando de 746 productores con un área total de 11.168,4 hectáreas en el 2004, a 949 productores en el 2005 con un área total productiva de 14.019,4 hectáreas (CANAPEP 2005). Proporcionalmente al incremento en área de producción, se da una mayor producción de rastrojos al

finalizar cada periodo de cosecha, material que incrementa los costos de producción del nuevo ciclo y sustrato para el desarrollo de la mosca paletera (*Stomoxys calcitrans*).

Al ser la técnica de ensilaje, una alternativa para la conservación de desechos agrícolas y concentrar la zona norte y atlántica el 29,6% y 13,2% de la población bovina nacional, respectivamente (CORFOGA y MAG 2000), esta práctica podría beneficiar a las 16.811 fincas ganaderas que se encuentran en estas regiones; las cuales representan el 42,8% del total de fincas en el país (CORFOGA 2000), por medio de la producción de un suplemento forrajero y de la reducción del sustrato para el crecimiento de la mosca paletera.

REVISIÓN LITERARIA

El cultivo de la piña

La piña es una planta monocotiledónea, perenne, de la familia de las Bromeliáceas, en este grupo se pueden ubicar cerca de 50 géneros y 2000 especies. A excepción de una variedad africana (*Pitcairnia feliciana*), todas las demás son originarias de Centro y Suramérica (EARTH 2004).

Todos los tipos cultivados pertenecen al género *Ananas* y en particular la especie comestible *comosus*. Existen otras 7 especies que se utilizan en bancos de germoplasma como fuente de genes de resistencia o de concentración de azúcares para el mejoramiento genético de las variedades cultivadas. La *Ananas comosus* posee 5 cultivares o variedades, que se conocen como: Reyna, Española, Pernanbuco, Mordilona, Champaka (F-153) y Hawaiana (Cayena Lisa), este último es el más sembrado para la producción piñera (Rebolledo *et al.* 2006).

El mejoramiento genético que ha sufrido la planta de la piña permite que las nuevas variedades presenten características que faciliten su manejo, por ejemplo la reducción de espinas en las hojas. Sin embargo las mutaciones somáticas en las plantas son comunes, por ejemplo, el 1% de las piñas de la variedad cayena lisa

cultivadas presentan espinas en sus hojas cuando se dan condiciones de estrés (Rebolledo *et al.* 1998).

En el cultivo de la piña lo que se aprovecha de la planta es únicamente el fruto por lo que el resto de la planta se queda sin ser utilizado, a esto se le conoce como rastrojo de piña, el cual, está compuesto por el tallo y las hojas de la planta. Al ser una planta perenne puede llegar a medir varios metros de altura, lo cual no es recomendable económicamente, debido a las exigencias del mercado, por lo que sólo se permite de 2 o 3 cosechas como máximo (EARTH 2004).

Las plantas de piña producen un tallo de 20 – 40 cm de largo, grueso y de consistencia carnosa, este pesa entre 400 a 1000 gramos (peso fresco) en plantas desarrolladas, concentrando la mayor cantidad de nutrientes de la planta. Los meristemas producen de 60 a 80 hojas según la variedad y si la floración ha sido inducida o no. Las hojas no se caen sino que se conservan adheridas a la planta hasta que esta es cortada; la turgencia y la clorofila se mantienen en las hojas por mucho tiempo y a los 10 o 12 meses las hojas miden hasta 1 metro de largo (Rebolledo *et al.* 1998).

La altura de las plantas adultas puede alcanzar 1,0-1,5 m; el peso de las plantas completas oscila entre 4.000 y 4.500 g, pesando el tallo 600-650 g y el peso de las hojas 3500 g en promedio (Hepton 2003).

Desde un punto de vista agronómico, la hoja D es la más importante, ya que se considera la hoja más joven y la más larga. Esta indica el balance nutricional e hídrico de la planta. Otras investigaciones indican que existe correlación entre el peso de la hoja D y el peso de la planta entera (Rebolledo *et al.* 1998).

En el cuadro 1, se describen las concentraciones promedio de macroelementos y microelementos encontrados en la hoja D de un cultivo de piña a los 7 meses.

Cuadro 1. Concentración mineral de la hoja D de una planta de piña de 7 meses de crecimiento

Hoja D	%						ppm					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	B	Cu	Zn	Na
	2	0,2	4,8	0,8	0,45	0,20	138	225	53	15	70	95

N=Nitrógeno, P=Fósforo, K=Potasio, Ca=Calcio, Mg=Magnesio, S=Azufre, Fe=Hierro, Mn=Manganeso, B=Boro, Cu=Cobre, Zn=Zinc, Na=Sodio.

Fuente: Mills y Jones (1996)

En el cuadro 2 se describe el rendimiento y la composición de los rastrojos en una plantación de piña de la variedad Española roja, sembrada a una densidad de 33 000 plantas/ha. En Costa Rica la densidad de siembra que se emplea, se encuentra cerca de las 65 – 70 mil plantas por hectárea de piña, cuando se usa la variedad dorada (Rebolledo *et al.* 2006).

Cuadro 2. Masa vegetal y nutrientes presentes en los rastrojos de piña, cultivar Española roja, después de la tercera cosecha.

Órganos	Masa verde t/ha	N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha	Ca kg/ha	Mg kg/ha
Hojas	78,0	150,0	26,4	523,0	20,0	40,0
Vástagos	19,0	6,6	7,30	77,4	3,3	13,3
Tallos	32,0	66,6	14,7	127,0	10,0	13,3
Raíces	4,0	6,6	1,45	8,30	3,3	3,3
Plantas completas	133,0	230,0	49,85	738,7	36,6	70,0

Fuente: Peña (1984).

Según el sistema productivo de la piña, después de cada cosecha, los terrenos son preparados para el siguiente ciclo. Este proceso consiste en chapear los residuos de la planta y luego se procede a quemarlos o se incorporan al suelo por medio de una arada, dependiendo del estado fitosanitario de la plantación.

Py *et al.* (1984) plantean que la extracción de nutrientes durante el ciclo productivo, pueden ser restituidas al suelo con la destrucción de las plantas madres y estos nutrientes pueden ser utilizados dependiendo a la tasa de liberación de cada fracción de la planta.

La incorporación del rastrojo se realiza con el fin de aumentar el nivel de nutrientes y materia orgánica en el suelo, como también la reducción de inóculos que contaminen las nuevas plantas (Hepton 2003), esta se realiza por medio de una rastra o arada profunda, a los 5 meses antes de la siembra. Sin embargo, una mala incorporación del material aumenta los riesgos de plagas, debido a una descomposición del material al aire libre (Mejía *et al.* 2001).

En algunos casos es incorporado como abono al suelo, pero esta práctica presenta un problema al momento de la descomposición del material, ya que en el suelo este material se degrada muy lentamente debido a lo fibroso de la hoja y a la dureza del tallo (Sánchez y Caraveo 1996), lo que provoca liberación de malos olores, favoreciendo condiciones de calor y de alta humedad, que permiten la reproducción de las moscas del género *Stomoxys sp* (mosca pailetera), las cuales afectan al ganado a nivel de la piel, provocando problemas en el consumo de materia seca lo que se refleja en la disminución de la producción de leche y en la ganancia de peso de los animales (Rojas *et al.* 2003).

Cuando se tritura los piñales para renovación, se debe pasar la rastra todos los días hasta que el material quede incorporado al suelo lo más pronto posible (tres días). El 70 - 80% del control y prevención de la plaga radica en la eficacia de esta práctica cultural (Rojas *et al.* 2003).

La quema es la técnica de labranza que permite reducir el tiempo entre ciclos, ya que permite seguir con la labor 6 semanas después del derribo de las plantas, la siembra se da de inmediato, sin embargo puede haber problemas por daños o contaminación (Py 1968a), pero es catalogada como la única alternativa económicamente viable para las pequeñas explotaciones (Py 1968b).

Por otro lado, Samson (1991) afirma que la quema provoca la destrucción de la mayor parte de la materia orgánica presente en la vegetación. No sólo se pierde carbono, hidrógeno y oxígeno, sino también gran cantidad de nitrógeno y azufre se incorpora a la atmósfera. La ceniza que queda enriquece el suelo con minerales, especialmente potasio, pero no por mucho tiempo, debido a su facilidad de perderse por escurrimiento o lixiviación. Por lo tanto, es deseable no quemar completamente la plantación.

Una consecuencia negativa de la producción de la piña en Costa Rica es su impacto sobre los suelos (Solano y Acuña 1993), ya que favorece la erosión, la compactación y el deterioro en la actividad microbiológica del suelo, debido a la mala selección del área de siembra, el tipo de labranza aplicada y la limitada cobertura vegetal que el cultivo de la piña otorga al suelo (Quijandria *et al.* 1997).

Uso de la piña en alimentación animal

El crecimiento de la producción piñera en el país y en el mundo ha permitido el establecimiento de empresas industrializadoras de estas frutas, las cuales generan grandes volúmenes de desechos agroindustriales anualmente. Por ejemplo, con el cultivar Cayena lisa, después de cosecharse los frutos, quedan disponibles hasta 80 toneladas de hojas/ha/año en material fresco (Palafox y Reld 1961).

Los desechos de piña (pulpa y cáscara) han sido utilizados en la alimentación de rumiantes por parte de productores de leche y carne de la región, con resultados satisfactorios en la producción de leche y condición corporal de los animales. Además, este tipo de suplemento, ha beneficiado a estos productores, al sostener la carga animal por hectárea en épocas de déficit forrajero. No obstante, dada la estacionalidad de la producción de piña y por consiguiente la oferta de desechos de esta fruta, la necesidad de buscar alternativas para su conservación durante los periodos de abundancia, para ser empleados en la época de escasez de este subproducto. Gutiérrez *et al.* (2003) informaron de la factibilidad de ensilar los desechos de la industria de la piña (cáscara y pulpa) con niveles crecientes de pollinaza.

En Tailandia, muchos sistemas estabulados de producción de carne, se han establecido cerca de las áreas de producción de piña, por la razón, de alimentar al ganado a libre consumo, con los subproductos del procesamiento de la piña, que son totalmente libre de costos (Phonbumrung y Khemsawas 2000). Sin embargo esta situación provocó que las empresas enlatadoras empezaran a vender los subproductos y que los propietarios de los sistemas estabulados compraran volúmenes de los desechos para ser ensilados. En estos casos, el ensilaje de piña se suplementa junto con el ensilado de maíz y el concentrado. Según Phonbumrung y Khemsawas (2000) este material es comparable con los ensilados de cebada y maíz en cuanto a palatabilidad.

Py (1968a) señala que en Martinica se deja entrar al ganado a los lotes cosechados para que consumen las plantas y que dependiendo de la duración del pastoreo, los tallos de la planta son el único remanente que queda en el área del cultivo, lo cual permite una mejor incorporación del material.

Según Palafox y Reld (1961), el rastrojo de piña es considerado un suplemento útil para animales rumiantes y puede utilizarse en forma fresca, desecadas artificialmente o ensiladas. En todos los casos, estas deben ser picadas antes de su utilización. Si se ensilan, estos mismos autores recomiendan la adición de melaza para un adecuado proceso fermentativo. Al suministrarse al ganado, se recomienda hasta 15-20 kg por día de plantas frescas, en forma de

harina o material ensilada, sin haber determinado efectos nocivos en el desarrollo de los animales. En caso de animales monogástricos, la suplementación con harina de hoja de piña en cerdos o aves de corral no es recomendable, debido a los altos niveles de fibra (Palafox y Reid 1961). Por otro lado, Mejía *et al.* (2001) recomienda el uso de los materiales generados después de la extracción del jugo de piña, como suplemento en la alimentación de ganado porcino.

Durante las etapas de industrialización de la fruta de piña, Mejía *et al.* (2001) recomiendan aprovechar la corteza y el corazón resultante en las operaciones de enlatado, por medio de un proceso de secado artificial y mezclado posterior del material resultante con melaza, para obtener una harina. Tal proceso presenta una relación de 10 a 1, o sea para obtener una tonelada en producto deshidratado se requiere de 10 toneladas de material en fresco.

Otro subproducto de alta calidad, resultante del proceso de extracción del jugo de piña, es el jugo que por razones de la empresa no es comercializado, este puede ser concentrado y vendido como melaza de piña. El mismo puede sustituir en las dietas para cerdos entre el 40% y el 50% de la cebada en las dietas, además, en contraste con la melaza de caña de azúcar, la melaza de piña puede ser utilizada en altos niveles, sin provocar diarrea en el ganado (Collins 1960).

Los vástagos y las hojas de la planta de piña son una fuente de fibra. Esta es blanca, cremosa y brillante como la seda, se ha procesado para la confección de papel con calidades notables (Office of the Gene Technology Regulator 2003). También, se ha empleado para la producción de ensilaje y de heno, destinado para la alimentación del ganado (Office of the Gene Technology Regulator 2003). En el cuadro 3 se presenta la composición nutricional de diferentes subproductos que se han usado para el empleo de los desechos de la piña en la alimentación animal.

Cuadro 3. Composición nutricional de los subproductos de piña obtenidos en Hawaii.

Material	Como % de la materia seca*							
	MS	PC	FC	Cen	EE	ELN	Ca	P
Hojas frescas, Hawaii	20,6	9,1	23,6	4,9	1,6	60,8	1,33	0,36
Ensilaje de hojas, Hawaii	19,1	6,0	22,8	10,0	2,9	58,3	-	-
Salvado seco (Pulpa de la fruta)	87,6	3,5	16,2	5,2	0,5	74,6	0,29	0,11

*MS=Materia seca, PC=Proteína cruda, FC=Fibra cruda, Cen=Cenizas, EE=Extracto etéreo, ELN=Extracto libre de nitrógeno.

Fuente: Otagaki y Morita (1960).

En cuanto al valor nutricional de los rastrojos de piña frescos, cabe mencionar que, este depende de la composición de los rastrojos; Kellems *et al.* (1979) indican que la concentración de proteína varía de la siguiente forma en una planta de piña: 6,41(% MS) en las hojas verdes, 3,10 (% MS) en las hojas secas, 5,15 (% MS) en los hijos, 3,74 (% MS) en el tallo y 2,55 (% MS) en las raíces (no siempre se incluyen).

La piña contiene un complejo de varias enzimas llamadas: bromelina, comosaína y papaína entre otras. Estas enzimas funcionan como proteasas (Fernández y Pomillo 2003) o sea que descomponen las proteínas en aminoácidos. Según Luchini *et al.* (1996) esta actividad se mantiene a nivel ruminal e intestinal, donde son absorbidas. En el caso de la bromelina, esta afecta la metabolización del ácido araquidónico, logrando un efecto antiinflamatorio. Paape (2000) indica que esta actividad antiinflamatoria puede ayudar a las vacas lecheras contra la mastitis y además reduce el conteo de células somáticas en la leche.

El proceso de ensilaje

La conservación de alimentos en forma de ensilaje es una herramienta de manejo que permite a los productores conservar recursos alimenticios (forrajes, residuos de cosecha, productos agroindustriales) y equiparlos con la demanda alimenticia del ganado (Wattiaux 1999). Esta se logra por medio de una fermentación láctica espontánea bajo condiciones anaeróbicas (Elferink *et al.* 2005), favorecida por el valor de pH inicial, capacidad buffer inicial del forraje, temperatura, contenido de bacterias, contenido de carbohidratos solubles, el contenido de materia seca y el volumen de aire por volumen de material (Moore y Peterson 1995)

Características fermentativas

Las características químicas y microbiológicas que determinan un buen proceso de ensilaje se definen como: una concentración mayor de 1,5-2% MS de ácido láctico con respecto a la concentración de los ácidos acético (<1,8% MS) y butírico (Esperance *et al.* 1981), un bajo pH (entre 3,7 y 4,2), un contenido menor a 7% de nitrógeno amoniacal respecto al nitrógeno total (Ojeda *et al.*1991), una concentración menor a 0,1% MS de ácido butírico (Ojeda *et al.*1991) y un bajo conteo de esporas (Moore y Peterson 1995).

Capacidad buffer

Según Giger-Reverdin *et al.* (2002), la acción buffer se define como la habilidad de una solución a resistir un cambio en el pH, ya sea por la adición o por la extracción de un ácido o un álcali. Así mismo McDonald y Henderson (1962) describen la capacidad buffer de los alimentos como la habilidad de cierta cantidad de ese alimento a resistir un cambio en el pH después de la adición de una solución ácida o una solución básica, sea esta débil o fuerte. Al optimizarse el proceso de ensilaje, por una rápida reducción del pH, conocer esta propiedad en los forrajes es una herramienta útil para obtener un adecuado proceso (Giger-Reverdin *et al.* 2002).

Al igual que los ácidos orgánicos, los aniones tanto orgánicos como inorgánicos, las proteínas de la planta y los residuos de fibra afectan la capacidad buffer del material a razón de 70–80%, 10–12% y 10–12%, respectivamente (Playne y McDonald 1966).

De igual modo, Moore y Peterson (1995), señalan que las leguminosas poseen mayor capacidad buffer que las gramíneas por su alto contenido de proteína y que fuertes fertilizaciones con potasio pueden incrementar la capacidad buffer del material, especialmente en la alfalfa.

Durante la fermentación del material se producen los ácidos orgánicos, que incrementan la capacidad buffer en los materiales ensilados, además según Gutiérrez *et al.* (2003), los niveles crecientes de nitrógeno soluble aumentan la capacidad buffer del material desfavoreciendo la fermentación, ya que aumenta el pH final del ensilado por inhibición de la producción de ácido láctico y acético, afectando su calidad.

Nitrógeno amoniacal

La presencia de amoníaco en los ensilajes está condicionada principalmente al metabolismo de los aminoácidos y los nitratos presentes en la planta por parte

de las bacterias. Tal concentración da una idea de la proporción de las proteínas que se han desdoblado durante el proceso de ensilaje, cuando este se expresa como porcentaje del nitrógeno total. En los ensilajes bien conservados se considera una concentración óptima cuando es menor al 7% de nitrógeno amoniacal con respecto al nitrógeno total (Betancourt *et al.* 2005).

Los valores esperados de nitrógeno amoniacal para un ensilado de buena calidad varían según el tipo de forraje. Jones *et al.* (2004) indican que los valores esperados para un ensilado de maíz son diferentes a los esperados para el ensilado de alfalfa; por ejemplo, para el ensilado de maíz se esperan valores menores al 10% respecto al nitrógeno total y de 7% respecto a la proteína cruda. En el caso de las leguminosas como la alfalfa, los valores esperados son menor al 5% del nitrógeno total y menor al 10% de la proteína cruda.

Características físicas

Los criterios físicos utilizados para identificar un ensilado de buena calidad son: el color, el olor y una buena textura. El color puede fluctuar desde verde, donde se califica como excelente hasta café oscuro (indeseable). El olor debe ser agradable (alta concentración de ácido láctico), pero como indicativo de ineficiencia en el proceso, se califican ensilados con olor avinagrado (acético) hasta el olor pútrido producto de una mala fermentación (butírico). Con respecto a la textura se

puede definir como la facilidad para separar los componentes del ensilado, caso contrario cuando se adhieran entre sí.

Factores que favorecen un adecuado proceso de ensilaje

Temperatura del proceso

Los ensilajes de alta calidad han presentado temperaturas de hasta 32° C grados, sin embargo se espera que todos los ensilajes se encuentren entre 20 y 30° C grados, la temperatura ideal es de 23° C grados, ya que, provee el ambiente propicio para el crecimiento de las bacterias productoras de ácido láctico (BPAL) y una adecuada tasa de respiración. Una temperatura mayor de 37° C grados en el silo estimula el crecimiento de bacterias clostridiales (Moore y Peterson 1995).

Porcentaje de materia seca del material (MS)

Los contenidos de materia seca en los materiales a ensilar para optimizar el proceso fermentativo deben de estar entre 35 y 55% MS, valores menores provocan la descomposición del material por una inadecuada fermentación, producto de un efecto de dilución y de pérdida de los carbohidratos presentes. Por otro lado, valores mayores a 55% MS, el material no permite una adecuada compactación, lo que aumenta el nivel de oxígeno en el silo, provocando un mayor consumo de carbohidratos solubles, reduciendo la capacidad de preservarse (McDonald 1981).

Concentración de carbohidratos solubles

Vargas (1979) considera que el nivel de carbohidratos no fibrosos del material a ensilar debe ser mayor al 10% de la materia seca para una buena fermentación. Estas observaciones coinciden con lo indicado por Arroyo (1977) el cual trabajando con pasto elefante llegó a la conclusión, de que al ensilar pastos con bajo contenido de carbohidratos no fibrosos es probable que se dé una pérdida en el valor nutritivo, producto de una inadecuada fermentación láctica.

Fisher y Burns (1987), indican en su investigación que, el nivel mínimo de carbohidratos solubles en el forraje a ensilar oscila entre los 60 a 80 g/kg de MS.

Tamaño de partícula

Jones *et al.* (2004) consideran que para que haya un adecuado proceso de ensilaje el tamaño de partícula del material debe ser de 3/8 a 3/4 de pulgada (de 0,96 a 1,92 cm.) en el ensilado de maíz y de 3/8 a 1/2 pulgada (0,96 a 1,28) en ensilado de alfalfa.

Tipos de fermentación

Las BPAL constituyen el grupo de microorganismos deseables, ya que tienen la habilidad de fermentar los carbohidratos solubles, generando el ácido láctico como principal producto, siendo este ácido el que más contribuye a la

preservación del material. Estas bacterias se encuentran como microorganismos epífitos en tejidos vegetales frescos e incluyen los géneros *Lactobacillus sp*, *Pediococcus sp*, *Leuconostoc sp*, *Lactococcus sp* y *Streptococcus sp* (Pagán 2006).

Dependiendo de la cantidad inicial de las BPAL en el material y las condiciones fermentativas que gobiernen el proceso, se producen dos tipos de fermentación: la homofermentativa y la heterofermentativa. Los procesos homofermentativos, a su vez, se subdividen en homofermentativos obligados (Figura 1), que son bacterias capaces de degradar hexosas pero no pentosas y cuyo producto de fermentación es mayormente ácido láctico y las fermentadoras facultativas (Figuras 2 y 3) que también producen ácido láctico a partir de las hexosas, pero que también pueden degradar algunas pentosas con producción de ácido láctico, ácido acético y etanol. Las bacterias homofermentadoras obligadas son las más deseables durante el proceso de fermentación por su alta producción de ácido láctico. Las BPAL heterofermentativos (Figuras 2 y 3) degradan tanto hexosas y pentosas, generando cantidades equimolares de ácido láctico, dióxido de carbono, ácido acético y etanol (Jones *et al.* 2004).

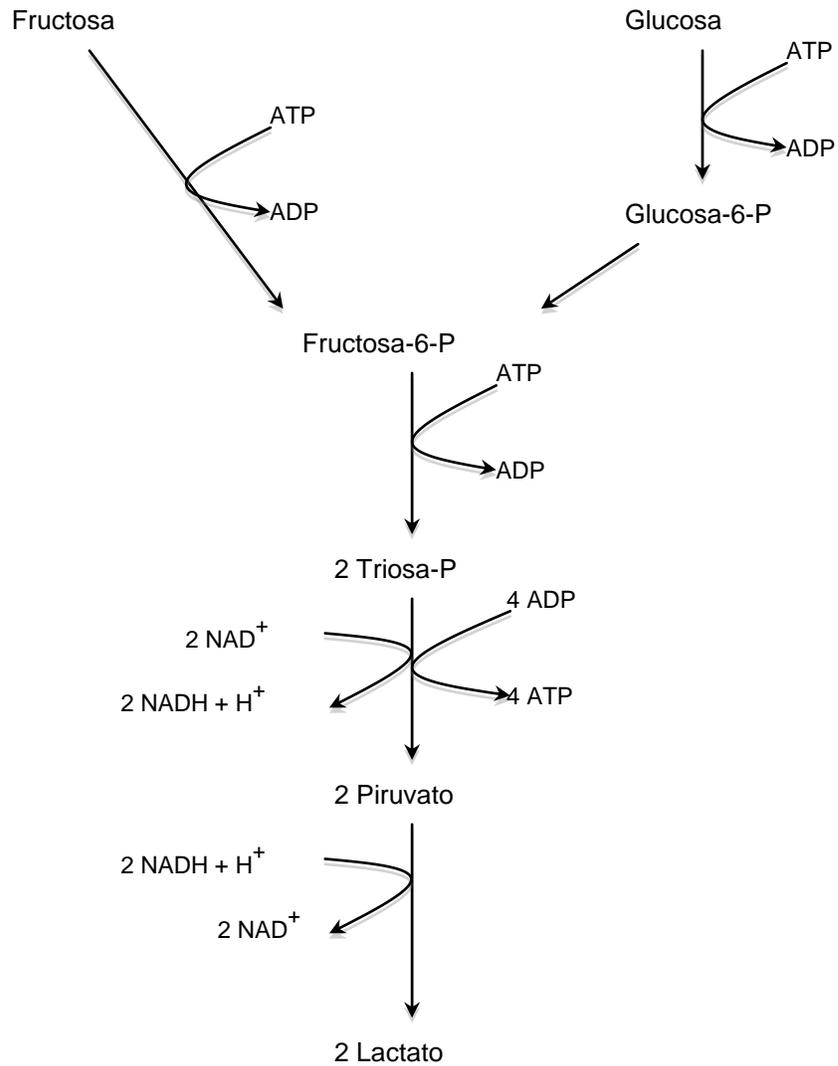


Figura 1. Reacciones de fermentación de la glucosa y la fructosa por las bacterias homofermentativas (productoras de A. Láctico)
Adaptado de McDonald (1981)

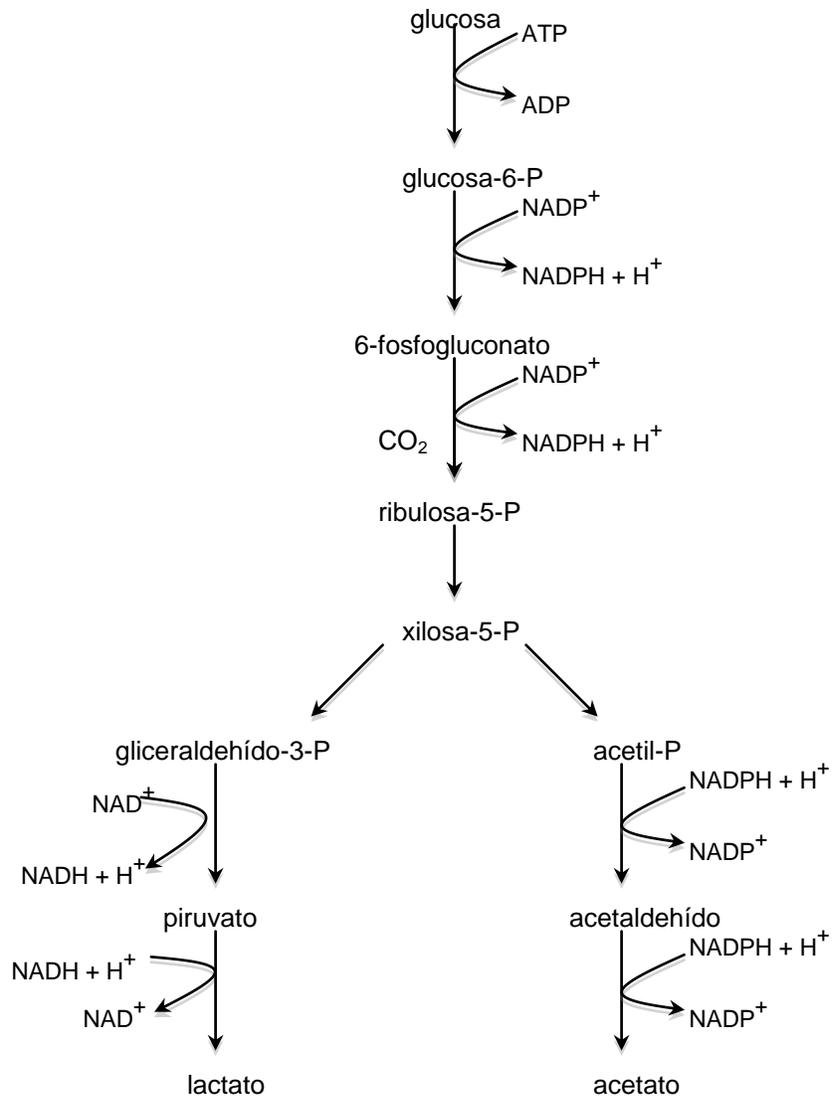


Figura 2. Fermentación de la glucosa por bacterias homofermentativas que también son heterofermentativas (productoras de ácido acético y láctico) Adaptado de McDonald (1981)

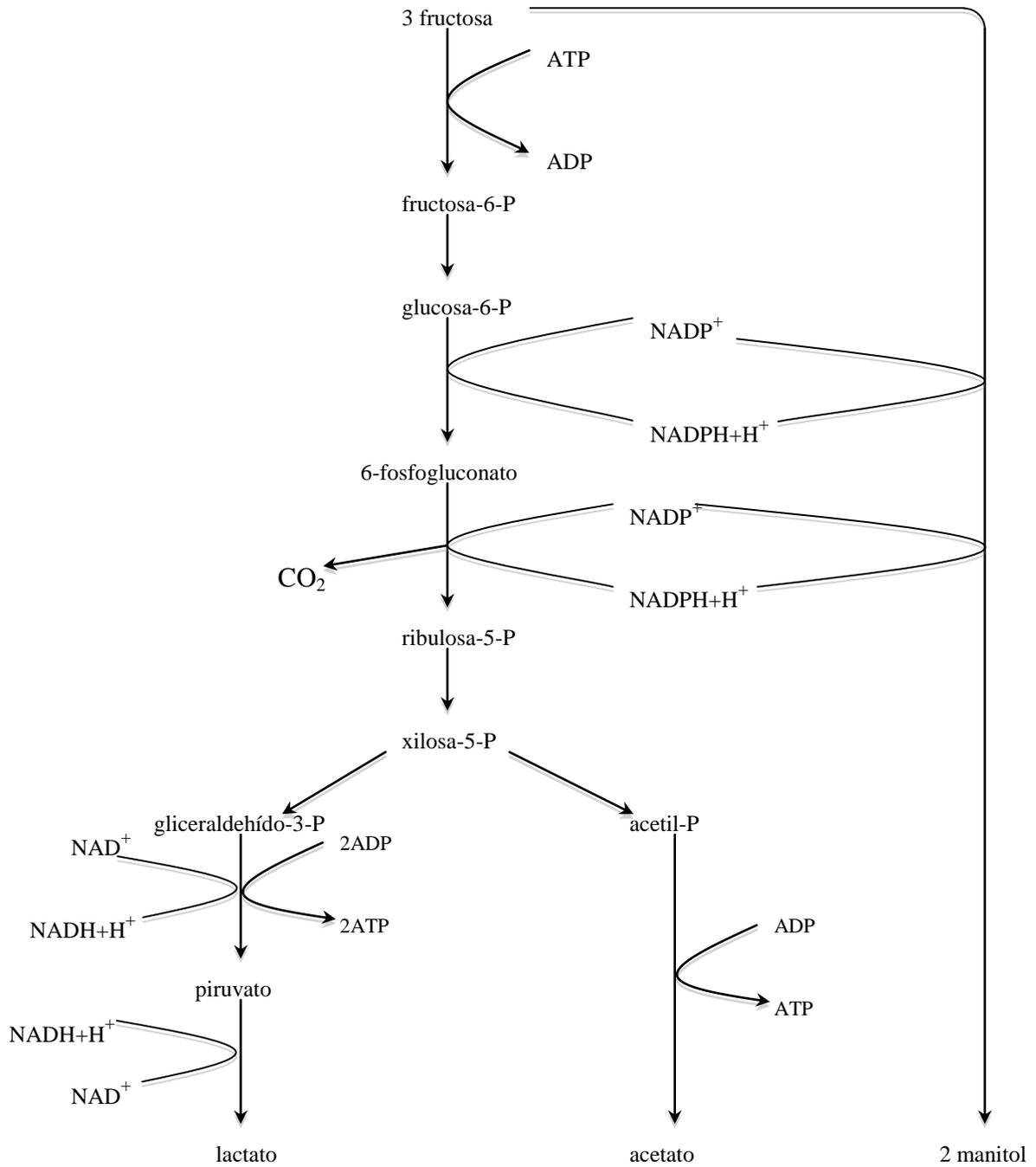


Figura 3. Reacciones de fermentación de la fructosa por Bacterias homofermentativas que también son heterofermentativas (productoras de ácido acético y láctico)
Adaptado de McDonald (1981)

Los coliformes, clostridios, hongos y levaduras son considerados microorganismos indeseables asociados con el proceso fermentativo. Los coliformes son clasificados como anaeróbicos facultativos y no patogénicos; estos organismos requieren un pH neutral para su crecimiento óptimo, por lo cual se asocian a las etapas iniciales de la fermentación, además compiten con las BPAL por los azúcares y pueden degradar proteínas. Sin embargo, una vez que comienzan a proliferar las BPAL, se incrementa la producción de ácido láctico y las poblaciones de coliformes se reducen (Pagán 2006).

Como indicativo de la influencia de bacterias del género *Clostridium* en el proceso de ensilaje, se cita la concentración de ácido butírico, debido a que este ácido es producto de la degradación del ácido láctico por la Clostridia (Figura 4), por consiguiente el ácido butírico es menos energético, por lo que el valor energético del ensilado es inferior. Cuando hay presencia de estas bacterias en el silo el nitrógeno amoniacal es muy alto, además los componentes nitrogenados se degradan en aminas como la cadaverina y el pH es superior a 5 por lo que el material no se preserva adecuadamente (McDonald 1981).

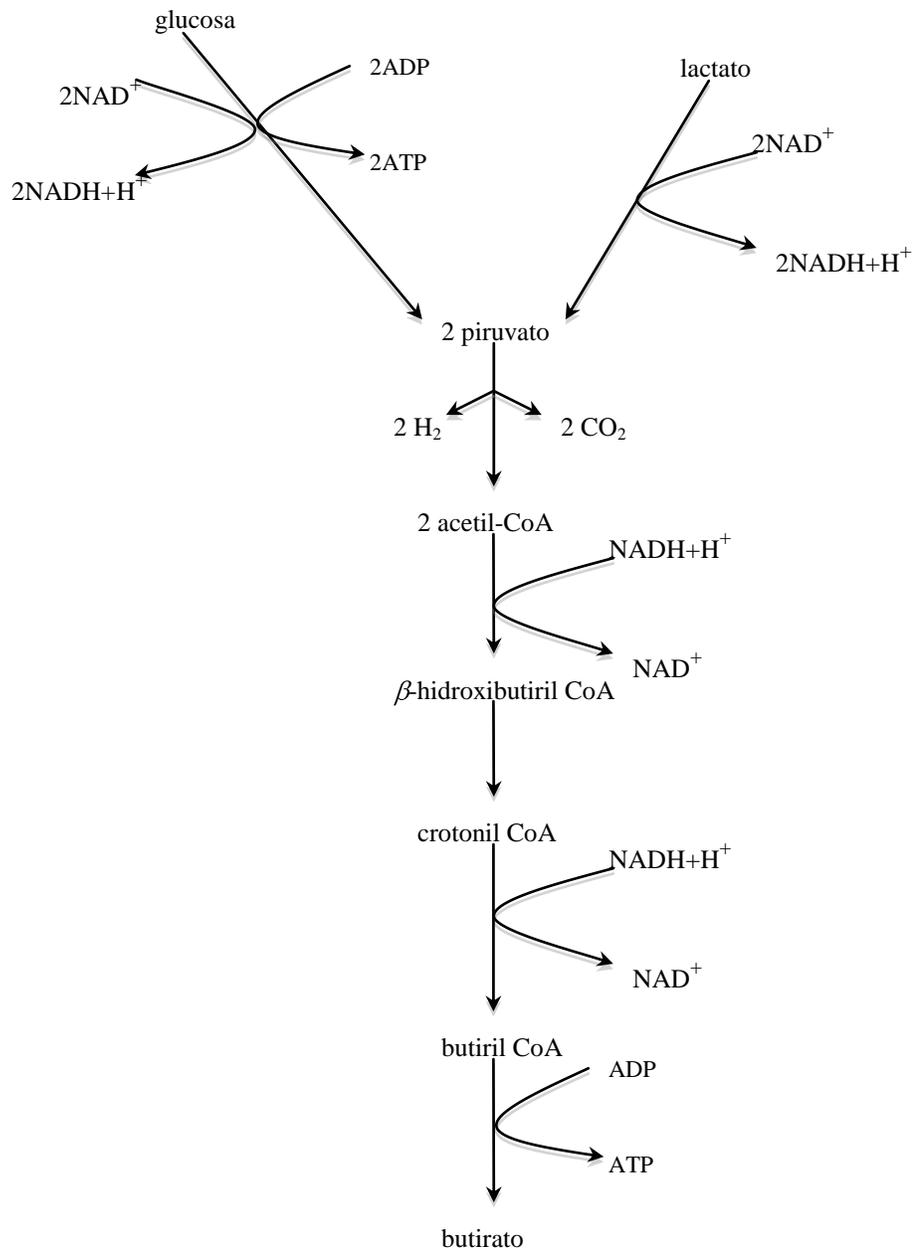


Figura 4. Fermentación de la glucosa y el lactato en *A. Butírico* por influencia de *Clostridia*. Adaptado de McDonald (1981)

Etapas del proceso

Una vez que el material fresco ha sido picado, compactado y protegido con un plástico, el proceso del ensilaje se puede dividir en cuatro etapas (Moore y Peterson 1995).

Fase 1. Fase aeróbica. Esta fase depende de la concentración inicial de oxígeno atmosférico presente en la masa vegetal, la cual disminuye rápidamente debido a la respiración de los materiales vegetales y a la acción de los microorganismos aeróbicos y aeróbicos facultativos (levaduras y enterobacterias). Además hay una importante actividad de proteasas y carbohidrasas (enzimas vegetales), siempre y cuando el pH se mantenga entre 6,0-6,5 en el jugo del forraje fresco. La duración de esta fase es importante debido a que puede comprometer la concentración inicial de carbohidratos solubles y afectar el proceso fermentativo.

Fase 2. Fase de fermentación. Esta fase se establece en los primeros 5 días y se inicia al producirse un ambiente anaeróbico, posterior a la compactación, el cual depende de las características del material ensilado y de las condiciones predominantes al momento de ensilarse el material. Si la fermentación se desarrolla con éxito, la actividad de las BPAL prolifera y se convierten en la población predominante. A causa de la producción de ácido láctico y otros ácidos, el pH baja a valores entre 5,0 a 3,8.

Fase 3. Fase estable. Mientras se mantenga el material ensilado intacto, sin presencia de oxígeno, ocurren pocos cambios. La mayoría de los microorganismos de la Fase 2 lentamente reducen su presencia. Algunos microorganismos acidófilos sobreviven este período en estado inactivo; mientras que los clostridios y los bacilos sobreviven como esporas. Sólo algunas microorganismos especializados (*Lactobacillus buchneri*), como las enzimas proteasa y carbohidrasa toleran ambientes ácidos, continuando activos pero a menor ritmo.

Fase 4. Fase de deterioro aeróbico. Esta fase comienza con la apertura del silo y la exposición del ensilaje al aire. Esto es inevitable cuando se requiere extraer y distribuir el ensilaje, pero puede ocurrir antes de iniciar la explotación por daño de la cobertura del silo, por roedores, pájaros y un mal manejo del emplastado.

Período de deterioro

El período de deterioro puede dividirse en dos etapas. La primera se debe al inicio de la degradación de los ácidos orgánicos que conservan el ensilaje, por acción de levaduras y ocasionalmente por bacterias que producen ácido acético. Esto induce un aumento en el valor del pH, lo que permite el inicio de la segunda etapa de deterioro; en ella se constata un aumento de la temperatura y la actividad

de microorganismos que deterioran el ensilaje. La última etapa también incluye la actividad de otros microorganismos aeróbicos como facultativos (mohos y enterobacterias) (Pagán 2006).

El deterioro aeróbico ocurre en casi todos los ensilajes al ser abiertos y expuestos al aire. Sin embargo, la tasa de deterioro depende de la concentración y de la actividad de los organismos que causan este deterioro en el ensilaje. Las pérdidas por deterioro oscilan entre 1,5 a 4,5 % MS por día, estas pérdidas son similares a las que pueden ocurrir en silos herméticamente cerrados y durante períodos de almacenaje de varios meses (Jones *et al.* 2004).

Manejo del proceso fermentativo

Es importante controlar y optimizar el proceso de ensilaje de cada fase. En la fase 1, las buenas prácticas para llenar el silo permitirán minimizar la cantidad de oxígeno presente en la masa ensilada, la cual dependerá de un adecuado picado del material y compactado. Esto permite reducir las pérdidas de nutrientes durante esta primera fase, dejando así mayor cantidad de nutrientes para la fermentación láctica en la Fase 2. El éxito en las fases 2 y 3, dependen de un adecuado manejo al inicio del proceso, el cual se favorece por la aplicación de aditivos al inicio del proceso (material previo a ensilar) (Elferink *et al.* 2005). La Fase 4 comienza en el momento en que aumenta la concentración de oxígeno. Para minimizar el

deterioro durante el almacenaje, es preciso mantener el silo hermético; las roturas de las cubiertas del silo deben ser reparadas inmediatamente.

Aditivos para ensilajes

Para mejorar la calidad del ensilado a producir, se hace uso de materias primas altas en carbohidratos solubles, en materia seca o en concentración de nutrimentos limitantes en el pasto, las cuales facilitan o mejoran las características físicas, fermentativas o nutricionales del proceso obteniendo un material de mejor calidad.

La melaza de caña (Cuadro 5) es un subproducto ampliamente usado, para suplir carbohidratos fácilmente fermentables a ensilajes de forrajes tropicales. Su aplicación directa es difícil debido a su alta viscosidad. Su aplicación en el ensilado de pastos tropicales, precisa una dosis alta de melaza (4 a 5 %). En forrajes de cultivos con muy bajo contenido de MS, una parte considerable del aditivo puede perderse en el efluente del silo en los primeros días del ensilaje (Mühlbach 2005).

Sin embargo, considera que el hecho de suplir azúcar no es suficiente para permitir que las BPAL puedan competir exitosamente con otros componentes de la microflora del ensilaje y asegurar una buena preservación. Incluso, bajo condiciones de alta humedad, la melaza puede también inducir un deterioro clostridial, especialmente en forrajes muy enlodados (Mühlbach 2005). La adición

de melaza no solo mejora la preservación del ensilaje, sino que también aumenta el contenido de energía metabolizable del ensilaje (Piltz *et al.* 2005).

Los absorbentes son empleados para forrajes con bajo contenido en materia seca para reducir las pérdidas por efluentes, por ejemplo Elferink *et al.* (2005) informa de experiencias satisfactorias con la pulpa seca de remolacha azucarera y la pulpa de cítricos (Cuadro 5), en cambio estos mismos autores indican que el uso de paja o materiales fibrosos tienen un efecto negativo sobre la composición nutricional del ensilado. La adición de pulpa de cítricos seca al ensilado de forrajes con valores bajos de MS, puede absorber hasta 145 por ciento de su peso en agua y prevenir así la pérdida de nutrientes en los efluentes (Vilela 1998).

En el cuadro 4 se describen los principales tipos de aditivos utilizados en la elaboración de ensilajes para forrajes tropicales, mientras que en el cuadro 5 se citan materias primas utilizadas como materiales absorbentes.

Cuadro 4. Categorías de aditivos para el ensilaje.

Tipo de aditivo	Ingrediente activo típico	Dosis	Comentarios
Estimulantes de fermentación	BPAL	(10^5 - 10^6 bacterias /g MS)	Puede reducir el tiempo de colonización e inhibir la actividad de otros microorganismos
	Azúcares (melaza)	(4-5% MS)	Incrementa la disponibilidad de energía para el crecimiento de las BPAL especialmente en leguminosas
	Enzimas	(0,05-2% MS)	Incrementa el contenido de azúcares fermentables y mejora la digestibilidad de la materia orgánica
Inhibidores de fermentación	Acido fórmico (85 %)	2,3 L/ton MS (85%) 2,0L/ton MS (99%)	Reducción del pH, además posee un efecto antibacterial sobre la mayor parte de la microflora del ensilaje. Puede reducir niveles de lactato y acetato aumentando los CHOS y el N proteico.
	Acido láctico	-	Restringe actividad de las clostridias y otras bacterias. No inhibe a los mohos y las levaduras
	Acidos minerales (HCl y H ₂ SO ₄)	-	Inhibe la actividad microbial y enzimática al reducir el pH hasta 3,00. Produce liberación de oxalatos y descomposición de la proteína
	Acido propiónico	(0,03 - 1,25 % MS)	Inhibe el crecimiento de clostridia, <i>Bacillus sp</i> y bacterias gram-negativas. Además de efecto antimicótico. También mejora el consumo de ensilados de maíz
	Acido benzoico	-	Propiedades antimicrobiales marcadas a pH bajo.
Nutrientes	Urea	< 2%	Mejora el nivel de proteína cruda, aumenta pH, nivel AGV, NNH3/NT del ensilado.
	Amoníaco	-	Mejora el nivel de proteína cruda
	Sulfato de magnesio	0,023%	Como control de hipomagnesemia. Aumentó el magnesio del ensilado de maíz de 1,9 a 3,2 %MS
Absorbentes	Pulpa seca de remolacha azucarera	-	Aumenta MS y libera nutrientes al humedecerse
	Paja	-	Aumenta MS.

Fuente: Elferink *et al.* (2005); McDonald (1981)

Cuadro 5. Composición nutricional de las materias primas utilizadas en la elaboración de ensilajes.

Materia Prima	MS (%)	PC (% MS)	EE (% MS)	FDN (% MS)	FDA (% MS)	Cen (% MS)	Azúcares (% MS)	Almidón (% MS)
Melaza	74,7	4,3	0,1	-	-	10,1	46,0	0
Pulpa de cítricos deshid.	89,2	6,4	2,1	24,6	18,5	7,1	22,8	0,5
Maíz	85,9	8,1	3,6	8,8	2,9	1,3	2,0	62,0
Papa	89,0	8,9	0,5	7,0	2,9	5,8	2,5	61,0
Trigo	90,0	13,8	2,0	3,9	1,3	1,6	2,5	56,0
Semolina de arroz	91,1	14,8	3,2	27,5	15,1	11,6	2,3	29,5

Fuente: Blas *et al.* (2003).

OBJETIVO GENERAL

- Valorar las características fermentativas, nutricionales y el costo de elaboración de los ensilados de rastrojos de piña, para ser empleados en la alimentación del ganado.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Cuantificar el valor de pH, capacidad amortiguadora y contenidos de nitrógeno amoniacal de los materiales frescos y ensilados.
2. Cuantificar el contenido de proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), lignina (Lig), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y nitrógeno ligado a la fibra (N-FDN y N-FDA) de los materiales frescos y ensilados.
3. Estimar los contenidos de nutrientes digestibles totales (NDT), energía digestible, energía metabolizable, energía de mantenimiento, energía de lactancia y energía de ganancia de peso de los materiales ensilados.
4. Estimar el costo de elaboración de los ensilados de rastrojos de piña y compararlo con el costo de elaborar ensilados de maíz.

Materiales y métodos

Mediante la técnica de microsilos, se evaluó 5 tratamientos con adición de aditivos, más un control absoluto sin aplicación de mejoradores de fermentación. A los tratamientos con aditivos se les adicionó 5 niveles de pulpa de cítricos deshidratada (0, 5, 10, 15, 20%), un solo nivel de melaza (3%) y de inóculo bacterial (1 l/ton) con relación al peso fresco del material. Cada tratamiento fue repetido 5 veces para un total de 30 microsilos.

El material forrajero a ensilar se obtuvo de una finca piñera ubicada en la zona de Pital de San Carlos, provincia de Alajuela, donde se seleccionaron dos lotes para producción de semilla.

En estos dos lotes se escogieron 60 plantas al azar y se procedió a retirarles el sistema radical. Se picó con cuchillo las hojas y parte del tallo de la planta, hasta obtener un tamaño de partícula de 3 cm en promedio.

Muestras de un kilogramo del material picado y previamente mezclado según su tratamiento, se almacenaron en bolsas de plástico para empaque al vacío (0,0063 mm de grosor). Una vez depositado el material se extrajo el aire mediante una bomba de succión o aspiradora, posterior a la eliminación del oxígeno, las

bolsas se sellaron con cinta plástica adhesiva y se colocaron en estantería bajo condiciones ambientales controladas.

Antes de sellar las bolsas de cada tratamiento, se tomaron 6 submuestras en total, para formar una muestra compuesta, la cual se llevó al laboratorio de bromatología del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) para realizar los análisis de composición nutricional del material previo a la fermentación.

Una vez abiertos los microsilos (60 días después), se procedió a descartar el material descompuesto (putrefacto) registrando el peso del mismo y en los casos en los que se obtuvo todo el material putrefacto se consideró determinarlos como efecto del tratamiento.

Se determinaron las características organolépticas del material ensilado utilizando los indicadores planteados por Betancourt (2005), para color se evalúa Excelente=verde olivo, Buena=verde amarillento, Regular=verde oscuro y Mala=negro. Para la evaluación del olor presente en el material obtenido se tomó como Excelente=agradable, a fruta madura, Buena=agradable, ligero olor a vinagre, Regular=ácido con fuerte olor a vinagre y Mala=desagradable, olor putrefacto. En el caso de la textura de los ensilados se consideró como Excelente y Buena=forraje conserva todos sus contornos definidos, Regular= bordes del forraje aparecen mal definidos y Mala= no se aprecia diferencia entre hojas y tallos,

los cuales forman una masa amorfa, jabonosa al tacto. En la determinación de la humedad en el material fermentado se clasificó el material como Excelente y Buena= No humedece las manos al ser comprimido dentro del puño, con una presión normal se mantiene suelto el ensilaje, Regular= al ser comprimido en el puño gotean efluentes, con tendencia a ser compactado y formar una masa. y Mala= destila líquido efluente, se compacta con facilidad y llega a tomar la formas si se le moldea.

Tanto en las muestras tomadas antes, como después del proceso fermentativo, se analizó el porcentaje de materia seca (MS) en estufa a 60° C durante 48 horas y el de proteína cruda (PC) mediante el método de Kjeldahl, extracto etéreo (EE) y cenizas (AOAC 1991), carbohidratos no fibrosos (CNF), (Eastridge 1994), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina (Van Soest y Robertson 1985) y el nitrógeno ligado tanto a la FDN (N-FDN) como a la FDA (N-FDA), expresados como porcentaje de la materia seca (Fox *et al.* 1990).

El porcentaje de nitrógeno amoniacal, se determinó en las muestras obtenidas después del proceso fermentativo, al agitar una muestra de 20 g de ensilado con 80 mL de agua destilada durante una hora, posteriormente se filtró la solución con una gaza para eliminar las partículas de mayor tamaño. Después se

centrifugó el líquido filtrado a 4500 r.p.m. durante 10 minutos y se emplearon 10 mL del líquido supernatante para la determinación del nitrógeno por medio del destilador FOSS KJELTEC® 2200. El destilado se recolectó en un erlenmeyer con capacidad de 250 mL que contenía 20 mL de ácido bórico al 4%, hasta un volumen de 100 mL, el cual fue titulado con HCl 0,1 N. Por medio de una relación estequiométrica, se calculó el porcentaje de nitrógeno amoniacal respecto al nitrógeno total.

La capacidad buffer del material después de ensilar se determinó mediante la metodología de McDonald y Henderson (1962), en donde se utilizó 20 g de muestra (material ensilado) y 80 mL de agua destilada como diluyente, se agitó por 20 minutos y se dejó reposar por 1 hora, después de este tiempo, se tomó el valor de pH inicial, utilizando un pHmetro CORNIN® modelo 220. Este material se tituló con HCl 0,1 N hasta obtener un valor de pH en solución de 3, para reducir el bicarbonato presente a ácido carbónico. Posteriormente, el pH de la muestra se llevó a 4, por medio de la titulación con NaOH 0,1 N, es en este momento que se tomó el volumen de NaOH necesario para elevarle el pH de la muestra hasta 6. Por medio de la fórmula que a continuación se describe, se expresó la capacidad buffer en mEq NaOH por cada 100 g de MS.

$$\text{Cap. Buff} = \left(\frac{(\text{Cn} * \text{NaOH} \times 1000) \times \frac{(\text{mL NaOH})}{1000}}{\frac{\text{g. muestra} \times (\% \text{MS})}{100}} \right) \times 100$$

* Cn= Concentración (Normalidad)

El contenido de NDT (Nutrientes Digestibles Totales) y de energía se estimó utilizando la metodología propuesta por Weiss (1992) y las ecuaciones propuestas por el NRC (2001).

Se estimó los costos de elaboración de un silo de montón con los respectivos requerimientos y aditivos, de modo que se pueda comparar su factibilidad económica como fuente de forraje respecto a los ensilados de maíz.

El análisis de la información se realizó a través de Modelo ANOVA de SAS (1985), de acuerdo a la siguiente ecuación estadística.

$$y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde:

y = es la variable de respuesta obtenida de la ecuación.

μ = es la media

T = es el efecto de tratamiento en este caso los niveles de pulpa de cítricos deshidratada.

e = es el efecto residual en el experimento.

La comparación entre tratamientos en caso que dicho efecto resulte significativo ($p < 0,05$), se realizó utilizando la prueba de Waller-Duncan.

Resultados y Discusión

1. Composición nutricional de los rastrojos de piña frescos (sin ensilar).

En el cuadro 6, se describe la composición nutricional y propiedades químicas de los tratamientos antes de ensilar.

Cuadro 6. Composición nutricional de los rastrojos de piña y los tratamientos con aditivos antes de ensilar.

Tratamientos [∞]	Control	Inclusión de pulpa de cítricos deshidratada				
		0%	5%	10%	15%	20%
Propiedades químicas						
pH	4,17	4,05	4,01	4,02	4,01	4,08
Capacidad buffer*	20,49	18,41	12,38	10,05	11,62	12,45
Composición nutricional						
MS (%)	11,2	12,3	15,0	20,4	21,0	23,3
PC (% MS)	7,42	7,62	6,34	6,39	6,40	6,63
EE (% MS)	1,43	1,83	1,58	1,72	1,68	1,83
FDN (% MS)	57,7	53,4	45,8	40,2	41,7	39,6
FDA (% MS)	32,1	29,2	26,5	23,4	23,1	22,7
CNF (% MS)	24,1	27,8	38,1	43,9	42,8	45,1
Cenizas (% MS)	9,42	9,31	8,15	7,75	7,36	6,88
DIVMS (%)	73,1	74,3	79,5	79,8	77,5	80,4

*mEq NaOH/100g. MS [∞] Cada tratamiento n=5

Los niveles de pH para los tratamientos antes de ensilar fueron mucho más bajos que los informados para muestras de maíz (grano), sorgo (grano), pulpa de cítricos deshidratada y heno de alfalfa (planta madura), en donde se determinó

valores de 6,18, 6,39, 5,77 y 5,60, respectivamente (Giger-Reverdin *et al.* 2002). Por su parte, McDonald (1981) indica valores de 6,02 de pH para muestras de ryegrass (*Lolium perenne*) en edad madura.

En cuanto a la capacidad amortiguadora el valor determinado fue de 20,49 mEq NaOH/100 g MS, valor similar al de la planta de maíz (*Zea mays*) antes de ensilarse (McDonald 1981) lo que facilitaría la fermentación. En cambio este mismo autor para el ryegrass y trébol blanco (*Trifolium repens*), informa de valores que duplican la capacidad buffer del rastrojo de piña (38,6 mEq NaOH/100 g MS y 57,8 mEq NaOH/100 g MS respectivamente). Estos altos valores se han relacionado con la dificultad para ensilar de este tipo de forrajes, debido a su alto contenido de proteína .

El contenido de materia seca determinado para los rastrojos (11,2%), presenta la mitad de concentración que los informados por Church *et al.* (2003) para pastos de zona templada como el *Dactylis glomerata* (24,4 %) y para la alfalfa (26,6%). Al compararlo con información relacionada a pastos en zonas tropicales, se observa una similitud con los pastos San Juan blanco (*Setaria anceps*) (13,0 %) y el San Juan morado (*Setaria anceps*) (13,5%), mientras que, al compararse con los pastos Guinea (*Panicum maximun*), Estrella africana (*Cynodon nlemfuencis*) y King grass (*Penisetum purpureum*) presenta niveles menores de materia seca (18,0%, 22,7% y 17,1% respectivamente) (Sánchez 2006). Se considera que un

valor de 30-35% MS, asegura un adecuado proceso fermentativo, de tal manera que el valor cuantificado en el rastrojo de piña limitaría el proceso (McDonald 1981).

La inclusión de pulpa de cítricos deshidratada en la mezcla del ensilado provoca un incremento en la concentración de la materia seca del material, debido a que esta materia prima presenta en promedio un valor de materia seca de 89,2% (Cuadro 5)

La concentración de proteína cruda en los rastrojos de piña frescos (Control) al compararlos con forrajes de pastoreo empleados en sistemas de producción de rumiantes son bajos para los sistemas con *Brachiaria brizantha* (9,6%), Estrella africana (13,1%), Guinea (10,5%) y King grass (9,2%) (Sánchez 2006). Pero al compararse con sistemas donde predomina el pasto Jaragua el contenido de proteína es mayor (6,7%) (Sánchez 2006). También se nota que la inclusión de pulpa de cítricos deshidratada, afecta proporcionalmente el contenido de proteína por un efecto de dilución en las mezclas evaluadas.

Con relación al extracto etéreo, los rastrojos de piña presentaron concentraciones menores al compararse con el pasto gigante cosechado a 70 días (1,75% MS) (Rojas *et al.* 1998), al pasto estrella africana (3,2% MS), el maní forrajero con 60 días de rebrote (1,95% MS), al heno de pasto Pangola (1,6% MS)

(Rojas *et al.* 1999) y a la planta de soya sin las vainas y las semillas (1,76% MS) (Tobía y Villalobos 2004). Pero estos valores se ven favorecidos por la inclusión de los aditivos como la pulpa de cítricos deshidratada (Cuadro 6).

Los valores bajos de fibra detergente neutro determinados en los rastrojos de piña frescos potencian su consumo (Cruz y Sánchez 2000) (57,7 % MS) al compararlos con los valores de fibra detergente neutro de los pastos Estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), Ruzi (*Brachiaria ruziziensis*), Kikuyo (*Penisetum clandestinum*) y King grass de 71,5 %, 67,2 %, 67,0 % y 72,5 % respectivamente (Sánchez y Soto 1997). La adición de melaza y pulpa de cítricos deshidratada, favorecen el consumo, debido a su efecto sobre el contenido de fibra (FDN) del material, ya que, se nota una reducción (con respecto al rastrojo sin aditivos) del 8% para las mezclas con melaza, y de un $27,6 \pm 4,5\%$ para las mezclas con melaza y pulpa de cítricos deshidratada.

En cuanto a la fibra detergente ácido (FDA), el contenido bajo de FDA determinado en las plantas de piña fresca (Cuadro 6), podría indicar un mayor aprovechamiento a nivel de digestibilidad del material, cuando se compara a los contenidos de FDA del pasto Estrella africana (40% MS), San Juan blanco (38,6% MS), Ruzi (38,7% MS), Kikuyo (34, 4% MS) y King grass (51,1%) (Sánchez y Soto 1997). Similar comportamiento presento la FDA que la FDN, al adicionar la pulpa

de cítricos deshidratada, producto a una menor concentración de fibra detergente ácida presente en este aditivo (Cuadro 5).

Los niveles de cenizas determinados (9,42%) en esta investigación son elevados al compararse a los informados por Kellems *et al* (1979) en rastrojos de piña frescos (5,18%), tal comportamiento podría estar explicado, con base al mejoramiento genético que ha experimentado este cultivo, lo que provoca una mayor capacidad de extracción y retención de minerales por la planta.

La DIVMS que se obtuvo en los materiales antes de ensilar es mayor que la del pasto Estrella africana (42% DIVMS) (Fernández *et al.* 1991), al pasto Jaragua (*Hyparrhenia rufa*) (53,19%), Kikuyo (63,89%) y Brizantha (*Brachiaria brizantha*) (66,25%) (Estrada *et al.* 2000).

La digestibilidad del material se aumentó en una unidad porcentual al adicionar melaza por un incremento en los niveles de carbohidratos. Cuando se adicionó pulpa de cítricos deshidratada en la mezcla se produjo un efecto adicional en el incremento de la digestibilidad del material, sin embargo no existe una correlación entre el nivel de pulpa de cítricos deshidratada incluido en la mezcla y el porcentaje de digestibilidad.

2. Características organolépticas de los materiales ensilados.

a Color

El material contenido en cada uno de los microsilos, para cada uno de los tratamientos presentó un color verde olivo y amarillento lo que indica que el material obtenido es de una calidad de excelente a buena según lo señalan Betancourt *et al.* (2005). En dos repeticiones, una en el tratamiento 3 y otra en el 5 se presentaron puntos de hongos y en esos lugares el forraje sí presentó la coloración oscura indeseable para un ensilaje Betancourt *et al.* (2005).

b. Olor

En la determinación del olor se distinguieron tres olores, el olor ligero a vinagre se presentó en la mayor parte de los tratamientos, en los tratamientos con 20% de pulpa de cítricos deshidratada y en dos repeticiones del 15% pulpa de cítricos deshidratada se presentó un aroma dulce. Además en todos los tratamientos que contenían más de 10% de pulpa de cítricos deshidratada se percibió olor a naranja. Los tres olores dan indicación de ser un ensilado de buena calidad según lo señala Betancourt *et al.* (2005). En los tratamientos con hongos las partes colonizadas presentaban olor a pudrición.

c. Textura

El material de los tratamientos se segregaba con facilidad, no se produjo ningún tipo de aglomeración salvo en los puntos en los que se presentó hongo donde las hojas y los tallos formaron una masa jabonosa y pegajosa. Según Betancourt *et al.* (2005) esta aglomeración indica un mal ensilaje.

d. Grado de humedad

Debido al tipo de microsilo utilizado no hubo pérdida por efluentes, lo que provoca una retención de la humedad, que al momento de abrir las bolsas y revolver, se combinó con todo el material presente. En este punto Betancourt *et al.* (2005) señalan que el ensilado es de calidad regular cuando al comprimirlo hay presencia de efluentes.

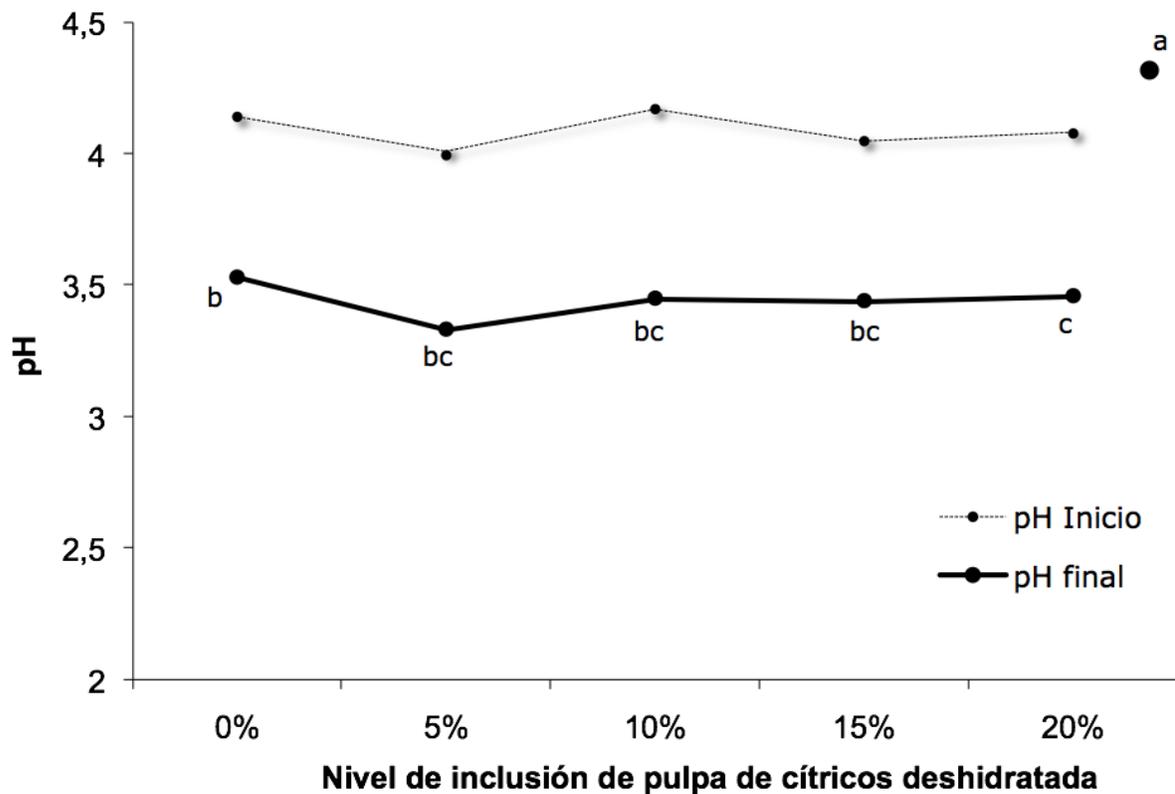
3. Características fermentativas del ensilaje de rastrojo de piña.

En este apartado se expondrán los datos obtenidos para las características de fermentación de los materiales ensilados, como lo son: pH. capacidad buffer y nitrógeno amoniacal.

a. pH

Para el ensilaje de rastrojo de piña, en la figura 5 se nota que el tratamiento control obtuvo el mayor valor de pH (4,40), debido a un contenido menor de carbohidratos solubles que limitaron la síntesis de ácidos, en relación a los demás tratamientos, los cuales presentaron valores de pH de 3,53, 3,33, 3,45, 3,44 y 3,46; conforme se incrementaron los valores de inclusión de pulpa de cítricos deshidratada. La adición de melaza y pulpa de cítricos deshidratada presentan un efecto significativo sobre la lectura de pH, pero no se encontró efecto debido a la adición de pulpa de cítricos deshidratada cuando los niveles de inclusión son menores al 15%, pero con la inclusión de 20% se determinó diferencias entre los tratamientos ($p < 0,05$).

El pH de los ensilajes es una variable importante, ya que la conservación del forraje depende de un medio ácido. Los forrajes frescos poseen un pH cercano a la neutralidad al momento de la corta y al almacenar el material los microorganismos presentes en el silo comienzan a degradar los azúcares (Smith *et al.* 1986), lo que provoca formación de ácidos orgánicos que disminuyen el pH, principalmente el ácido láctico. Sin embargo la tendencia al final del proceso fermentativo fue similar en cada tratamiento al inicio del experimento.



● Tratamiento Control absoluto (4,40)

Figura 5. Variación del pH en los ensilados de rastrojos de piña.

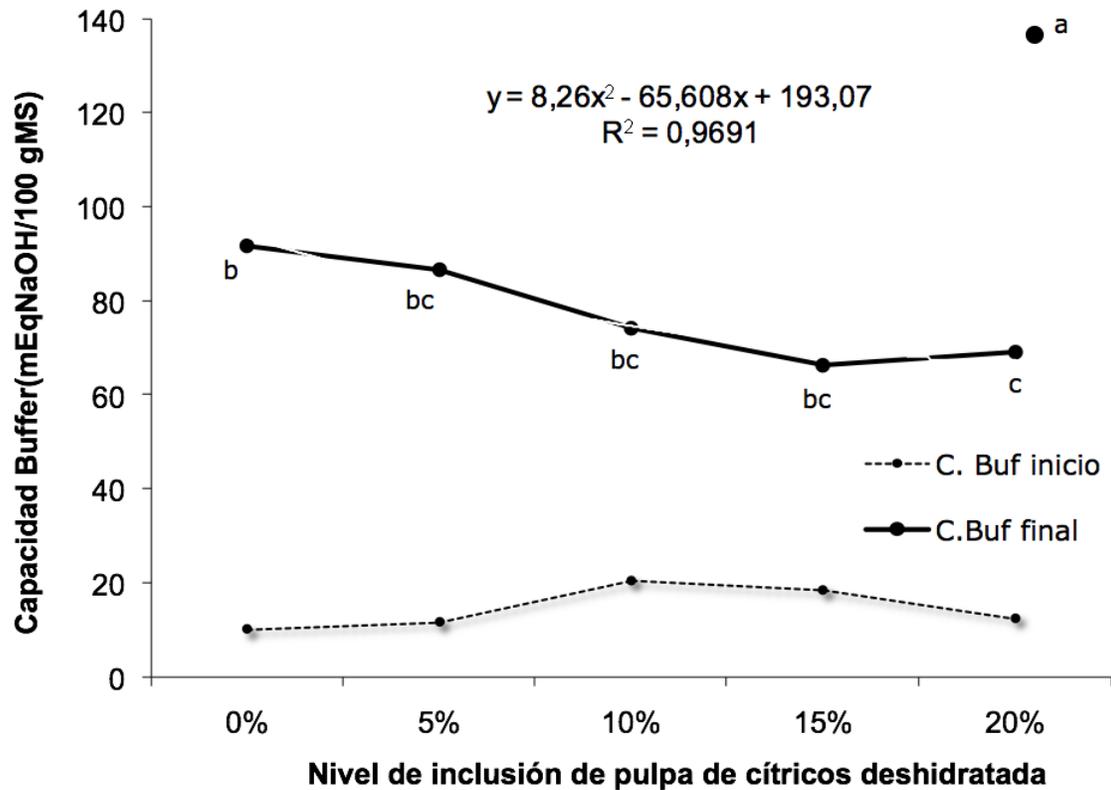
Según Moore y Peterson (1995), el valor de pH del ensilado de rastrojo de piña sin aditivos se considera como aceptable, debido a que estos autores afirman que en ensilados altos en humedad un valor óptimo se encuentra entre 4-4,20. Sin embargo, al compararlos con los valores de ensilados de desechos de piña (cáscara y pulpa) descritos por Gutiérrez *et al.* (2003) se consideran altos (4,40 contra 3,29). Igual conclusión se obtiene al compararlos con ensilados de maíz (3,89) (Giger-Riverdin *et al.* 2002), ensilados de pasto ryegrass (*Lolium perenne*) (3,90) y de trébol rojo (*Trifolium sp.*) (4,23) (McDonald 1981). Por otra lado, al comparar los valores informados por Calabrò *et al.* (2005) para ensilados de ryegrass (*Lolium multiflorum*) con los obtenidos en esta investigación, estos se consideran bajos (5,00 contra 4,40).

b. Capacidad buffer

Los valores de capacidad amortiguadora determinada en los seis tratamientos se ubicó entre 69,14 y 139,28 mEq NaOH/100 g de MS, siendo el mayor en el tratamiento control (sin aditivo) y el menor en el tratamiento con 20% de inclusión de pulpa de cítricos deshidratada. Este dato del tratamiento sin aditivos indica que hay una mayor producción de ácidos orgánicos que en el resto de los tratamientos, lo que supone una mejor fermentación, sin embargo esto no es así, por lo que se puede concluir que los ácidos producidos son de menor calidad (butírico, acético u otros).

Los valores intermedios de capacidad buffer (91,71, 86,59, 74,11, y 75,21 mEq NaOH/100 g MS) presentaron una disminución conforme se incrementaron los niveles de pulpa de cítricos deshidratada de 0%, 5%, 10% y 15%, respectivamente. Se obtuvo una correlación negativa entre la capacidad buffer y los niveles de pulpa de cítricos deshidratada ($\rho=-0,934$). Esta reducción en la capacidad amortiguadora por la adición de la pulpa de cítricos indica que la pulpa contiene compuestos (pectatos de calcio y carbonato de calcio) capaces de alcalinizar rápidamente la solución por lo que se consume menor cantidad de NaOH en estos materiales.

Como se observa en la figura 6, el cambio más fuerte en la capacidad buffer del material se dio con la adición de melaza ($p<0,05$), pero al adicionar pulpa de cítricos deshidratada solamente se determinó efecto adicional al de la melaza, cuando la inclusión de pulpa fue de 20% ($p<0,05$).



● Tratamiento Control absoluto (139,28)

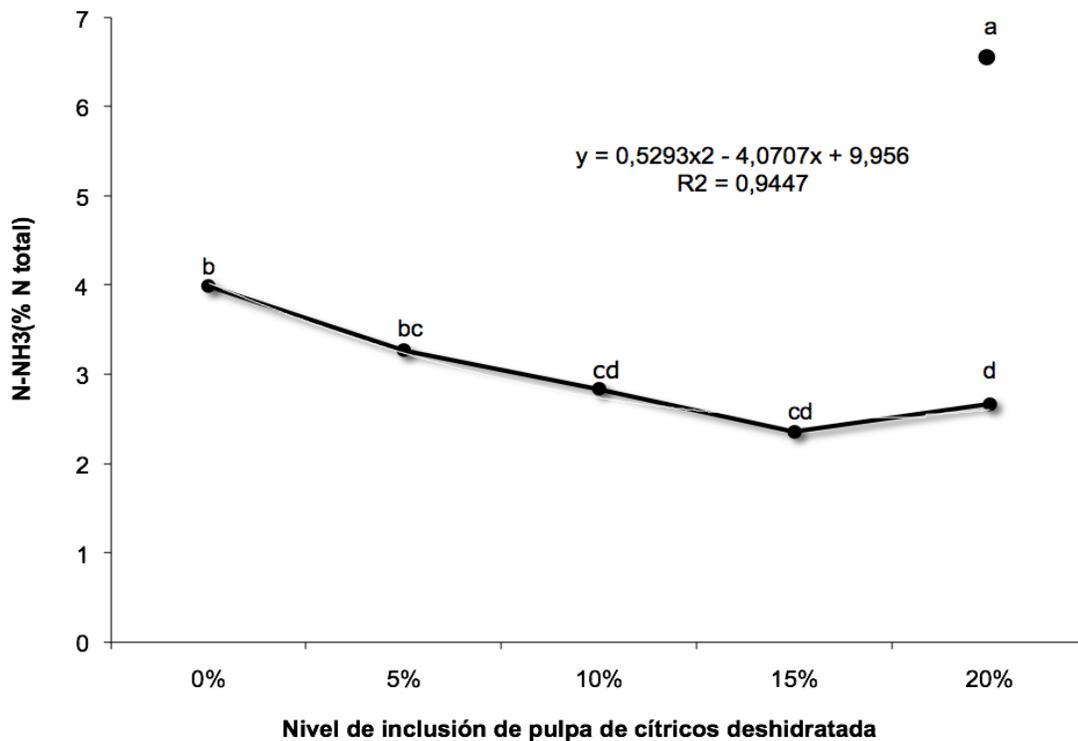
Figura 6. Variación del contenido de capacidad buffer en los ensilados de rastrojos de piña.

Tal comportamiento podría ser explicado por las características de los tratamientos, en donde la adición de melaza permite que el inicio de la fermentación sea rápido y a la vez, favorece que la pulpa de cítricos deshidratada se humedezca y que "a posteriori" participe en la generación de ácidos cuando se ha agotado la melaza.

El nivel de capacidad buffer obtenido en esta investigación para el tratamiento control es mayor a la informada por McDonald (1981) para ensilados de ryegrass (*Lolium perenne*) (112,0 mEq NaOH/100 g de MS) y de alfalfa (*Medicago sativa*) (115,0 mEq NaOH/100 g de MS), pero poseen una menor capacidad buffer que los ensilados de maíz (342 mEq NaOH/100 g de MS) descritos por Giger-Riverdin *et al.* (2002). Además todos los tratamientos con aditivos presentaron una capacidad buffer menor a los ensilados previamente descritos.

c. Nitrógeno amoniacal (N-NH₃/N total)

Los niveles crecientes de inclusión de pulpa de cítricos deshidratada presentó un efecto cuadrático (Figura 7) con relación a los valores de nitrógeno amoniacal presentes en el ensilaje de rastrojos de piña ($p < 0,001$). Contrario a los resultados obtenidos en la determinación de pH y la capacidad buffer, se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, en los niveles de 10%, 15% y 20% de inclusión ($p < 0,001$), determinándose valores de 2,84%, 2,67% y 2,36% N-NH₃/N total, respectivamente, contra 3,99% N-NH₃/N total cuando solo se empleó melaza como fuente de carbohidratos. Además se determinó una correlación negativa ($\rho = -0,889$) entre la inclusión de pulpa de cítricos deshidratada y el nivel de nitrógeno amoniacal.



- Tratamiento Control absoluto (6,69%)

Figura 7. Variación del contenido de nitrógeno amoniacal (NH₃/N total) en los ensilados de rastrojos de piña.

Todos los tratamientos mostraron valores de nitrógeno amoniacal que indican un buen proceso fermentativo, ya que, se presentaron concentraciones por debajo de 5% y 8% en relación al nitrógeno total, valor mínimo esperado para ensilaje de excelente calidad (Peña y Del Pozo 1992). Por su parte, Moreno (1977) indica que concentraciones menores al 11% N-NH₃/N total se califican como ensilajes aceptables, mientras que ensilajes de mala calidad se relacionan a valores superiores al 15% N-NH₃/N total.

Los contenidos de nitrógeno amoniacal obtenidos en esta investigación para el tratamiento control (sin aditivos), son similares a los presentados por Betancourt (2001) cuando evaluó ensilados de *Leucaena leucocephala* (7% N-NH₃/N total) sin el uso de aditivos. En cambio, al compararlo con ensilados de ryegrass (*Lolium perenne*) (10,0 % N-NH₃/N total) y trébol rojo (*Trifolium sp.*) (14,4% N-NH₃/N total) (McDonald 1981) y a los ensilados de desechos de piña (cáscara y pulpa) (13,23% N-NH₃/N total) (Gutiérrez *et al.* 2003) se determinaron concentraciones menores, pero similares a los ensilados de maíz (6,94% N-NH₃/N total) descritos por Berndt (2002).

4. Características nutricionales de los ensilados de rastrojos de piña.

El presente apartado describe los resultados obtenidos al analizar la materia seca (MS), la proteína cruda (PC), los componentes de la pared celular, el extracto etéreo (EE), las cenizas y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de los materiales ensilados, parámetros importantes para la caracterización nutricional del material obtenido.

a. Materia Seca

La adición de melaza y pulpa de cítricos deshidratada describió una tendencia lineal ($R^2=0,9875$) y se determinó una correlación positiva ($\rho=0,989$) en el valor de materia seca en los ensilados de rastrojos de piña (Figura 8), tal comportamiento se explica por el alto contenido de materia seca de estos materiales (Cuadro 5). Resultados acorde con McDonald (1981), quien indicó que la pulpa de cítricos deshidratada se utiliza principalmente para aumentar la MS de los forrajes altos en humedad.

Los resultados obtenidos en esta investigación apuntan a que no existen diferencias significativas en los niveles de materia seca en los ensilados al

adicionar melaza a la mezcla, sin embargo se encontró un efecto adicional al de la melaza a niveles mayores al 10% de pulpa de cítricos deshidratada ($p < 0,05$).

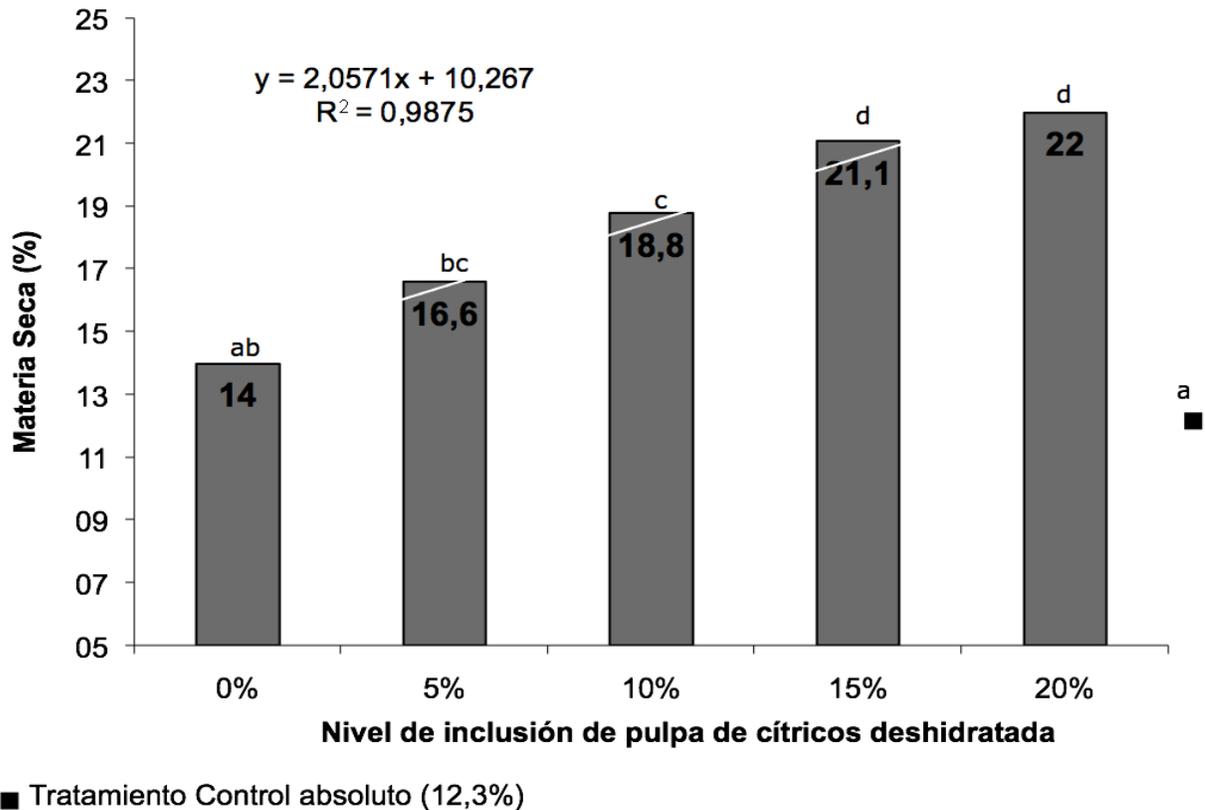


Figura 8. Variación del contenido de MS en los ensilados de rastrojos de piña.

Los ensilados de rastrojos de piña presentaron valores de materia seca bajos al compararse con otros ensilajes utilizados en la alimentación de rumiantes. Rojas *et al.* (1990) informan de valores entre 44 y 49% de materia seca para el ensilado de fruto de pejibaye. En cambio, se obtuvo valores similares a los descritos por Jones *et al.* (2004) para el ensilado de maíz (23,5 – 44,2%

dependiendo la madurez de la planta), el de sorgo (*Sorghum sp.*) (28,8%) y el de pasto Sudán (*Sorghum sp.*) (30,6%) cuando los valores de pulpa de cítricos es de 20%. Igual conclusión, se obtiene con los resultados informados por Tobía *et al.* (2004) cuando determinó la materia seca de ensilados de maíz (24,5%) y de soya (27,5%) (CIGRAS 06). Pero los resultados obtenidos por Gutiérrez *et al.* (2003) cuando ensiló cáscara y pulpa de piña demostraron valores inferiores de materia seca (10,27%) con relación a los resultados de esta investigación.

Los valores bajos de materia seca obtenidos en este trabajo pueden ser explicados por el tipo de técnica de conservación empleada, donde no permite la pérdida de los efluentes y a un problema metodológico a la hora de la toma de la muestra en el microsilo, ya que el material se uniformizó antes de tomar la muestra.

b. Proteína Cruda

La inclusión de las fuentes de carbohidratos en los ensilados de rastrojo de piña se correlacionaron negativamente ($\rho = -0,978$) con el contenido de proteína en los materiales post fermentación. Esto es provocado por los valores bajos de proteína en la melaza y la pulpa de cítricos deshidratada, los cuales producen un efecto de dilución, lo que reduce el promedio de este componente en el ensilado. Tal reducción presentó una tendencia lineal ($p < 0,001$) conforme se aumentó el nivel de inclusión de pulpa de cítricos en la mezcla (Figura 9).

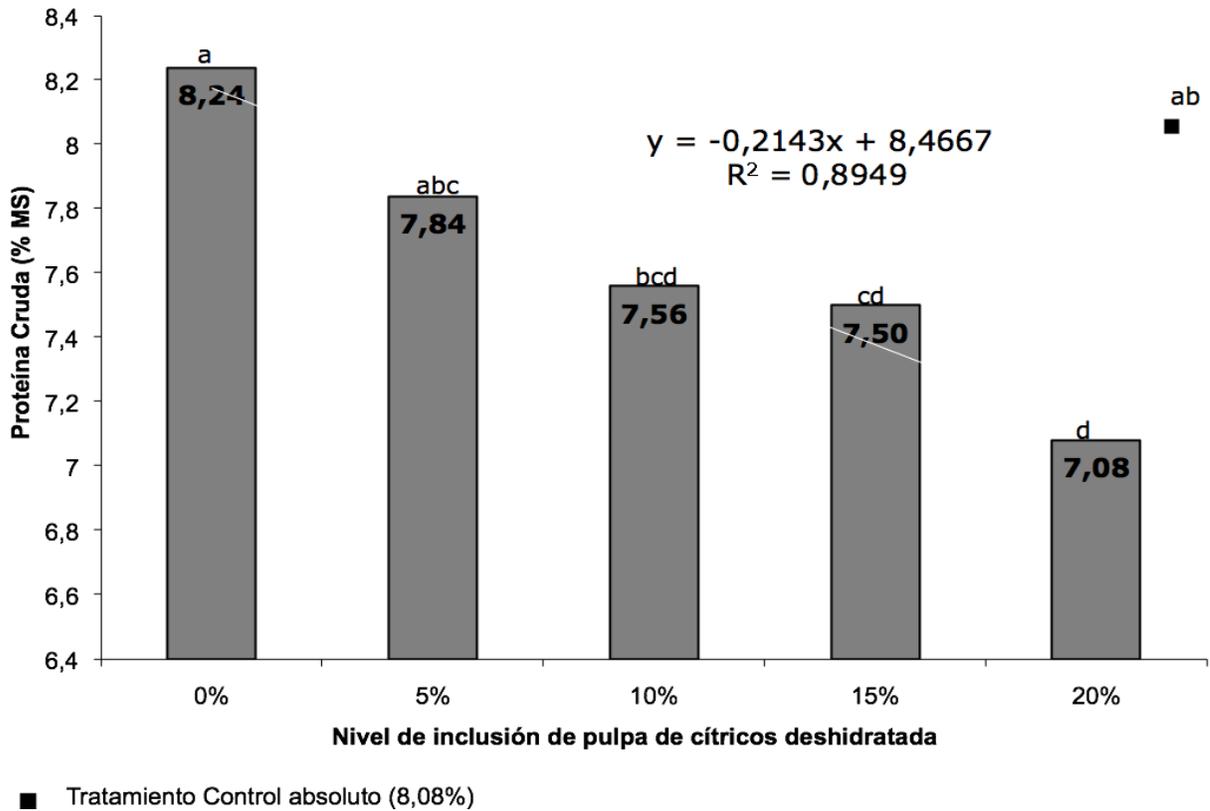


Figura 9. Variación del contenido de proteína cruda en los ensilados de rastrojos de piña.

Los tratamientos analizados en esta investigación no presentaron diferencias significativas en el contenido de proteína cuando se adicionó melaza (0% pulpa de cítricos deshidratada) y un nivel de 5% de pulpa de cítricos deshidratada, pero a niveles mayor al 10% de inclusión se determinó diferencias significativas ($p < 0,05$).

Según Kellems *et al.* (1979), el nivel esperado de proteína en plantas de piña en etapa de post cosecha es de 4,85 % MS, valor inferior a los obtenidos en esta investigación; posiblemente debido a mejores planes de fertilización, variedades mejoradas de plantas y un mejor manejo agronómico en las plantaciones.

Los niveles de proteína obtenidos en los diferentes tratamientos son menores a los determinados por Tobía *et al.* (2004) y Jones *et al.* (2004) para ensilados de maíz (8,9% y 9,1%, respectivamente). También, al compararse con valores de PC en ensilajes de sorgo, soya (*Glicine max*) y pasto sudan, con niveles de proteína de 9,1% MS, 17,4% MS y 12,3% MS respectivamente (Jones *et al.* 2004) y a los valores para pastos tropicales presentados en el apartado 1 de esta investigación, los ensilados de rastrojos de piña presentan valores inferiores, pero superiores a los valores de ensilados de pejibaye (4,95 – 5,93% PC) descritos por Rojas *et al.* (1990).

Debido a las exigencias nutricionales de los animales de alta producción, el nivel de proteína de los ensilados de rastrojos de piña requieren de la suplementación con alguna fuente proteica para lograr alcanzar los requerimientos de estos animales. Esto concuerda con lo expresado por Kellems *et al.* (1979) el cual indica que el ensilado de piña (cáscara y pulpa) y el de hojas de piña pueden

ser utilizados efectivamente en la alimentación de rumiantes siempre y cuando se dé una adecuada suplementación de proteína en la dieta.

Los análisis realizados indican que los ensilados de rastrojos de piña contienen en promedio entre 15 y 20% de su proteína con características no digestibles, producto de reacciones de Maillard, nitrógeno ligado a lignina y nitrógeno ligado a taninos. Estos componentes son inertes en el rumen es decir, pasan directamente por el tracto gastrointestinal y son expulsados sin ninguna alteración.

c. Extracto etéreo

El tratamiento con menor nivel de extracto etéreo determinado es el que presenta la inclusión de melaza pero sin la adición de pulpa de cítricos deshidratada, en cambio, una inclusión mayor al 10% de pulpa de cítricos deshidratada incrementa significativamente la concentración de extracto etéreo en el material (Figura 10). Conforme se aumentó la inclusión de pulpa de cítricos deshidratada en el ensilado se determinó un efecto lineal y una alta correlación ($\rho=0,897$) que favorece la concentración de extracto etéreo en el material, producto a una concentración mayor de EE en la pulpa que en la planta de piña (Cuadro 5).

Kellems *et al.* (1979) indican que la planta de piña en etapa de post cosecha posee en promedio 1,82% de extracto etéreo. En este caso, el material evaluado (tratamiento sin aditivos) presentó un valor de 1,71%, este cambio puede deberse a la composición de la muestra en donde la proporción entre tallos, hojas secas y hojas verdes no es constante.

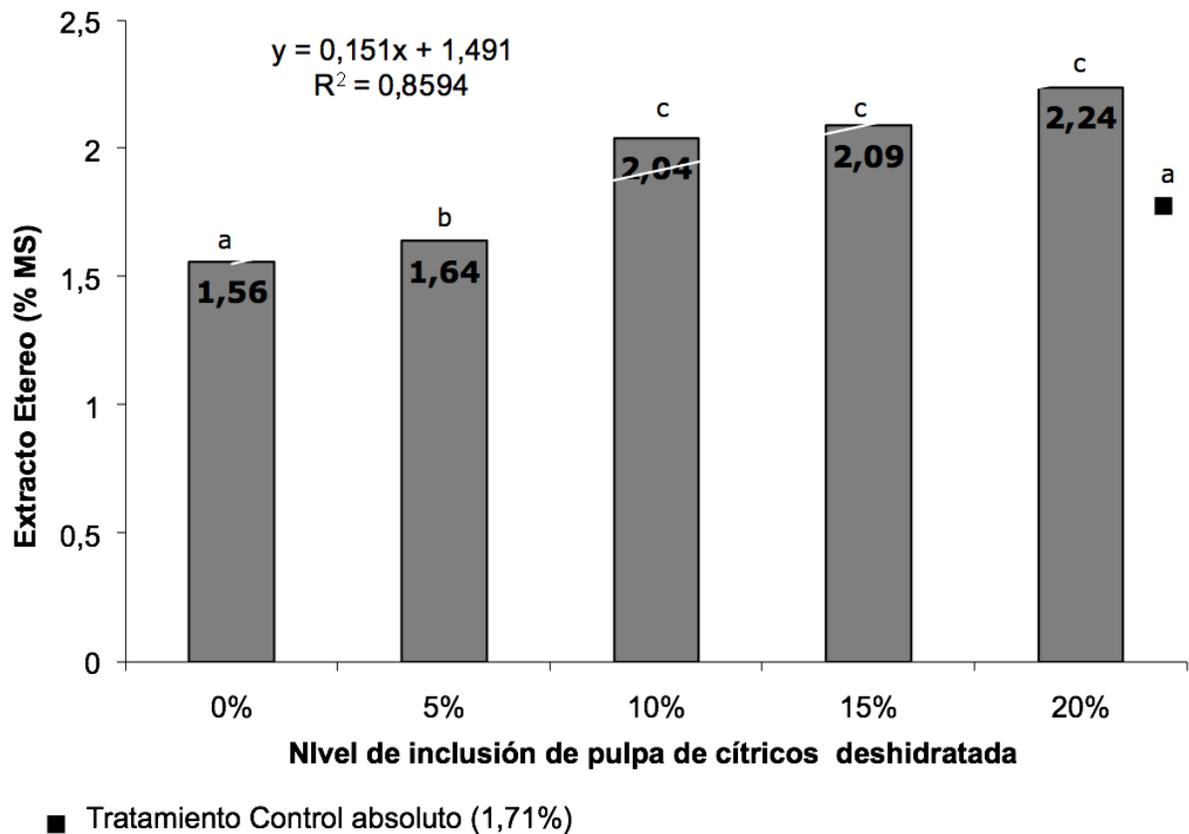


Figura 10. Variación del contenido de EE en los ensilados de rastrojos de piña.

El valor obtenido en los diferentes tratamientos es menor al que presenta el pasto gigante (2,6 %) a los 60 días de corta (Espinoza *et al.* 2001), al ensilado de pejibaye (11,0 – 11,65 % MS) (Rojas *et al.* 1990) y a los determinados por Gutiérrez *et al.* (2003) en ensilados de desechos de la piña (pulpa y cáscara) (2,52%), pero es similar a los informados para los pastos tropicales en el apartado 1 de esta investigación.

d. Componentes de la pared celular

d.i. Fibra detergente neutro (FDN)

En la figura 11 se observa que la FDN se reduce conforme se aumenta el nivel de pulpa de cítricos deshidratada ($p < 0,05$), esto debido a un contenido menor de FDN en la pulpa de cítricos deshidratada (Cuadro 5). Además se determinó un efecto adicional, de la inclusión de pulpa de cítricos deshidratada sobre el efecto de la melaza por si sola. Otra causa que puede explicar la reducción de la FDN en las mezclas ensiladas es la participación de esta fracción en el proceso fermentativo, como fuente de carbohidratos (McDonald 1981).

La disminución en el contenido de FDN por adición de fuentes de carbohidratos en los diferentes tratamientos, favorece el consumo de este por los animales con relación a las fuentes forrajeras, debido a que se retiene menos y se

reduce el efecto de llenado físico del tracto gastrointestinal (Rojas *et al.* 1995). En condiciones tropicales, los contenidos de FDN de los forrajes alcanza valores de hasta 70% en base seca, debido a la protección a la alta radiación solar que deben hacer las plantas (Sánchez y Soto 1997), lo que limita el consumo. Se pronostica según metodología de Belyea *et al.* (1996) (120/%FDN) que el consumo de ensilajes de rastrojos de piña (sin limitación de proteína) podría representar entre 2,5 y 2,9% del peso vivo de acuerdo al nivel de inclusión de aditivos, en comparación a forrajes tropicales (1,7% del peso vivo).

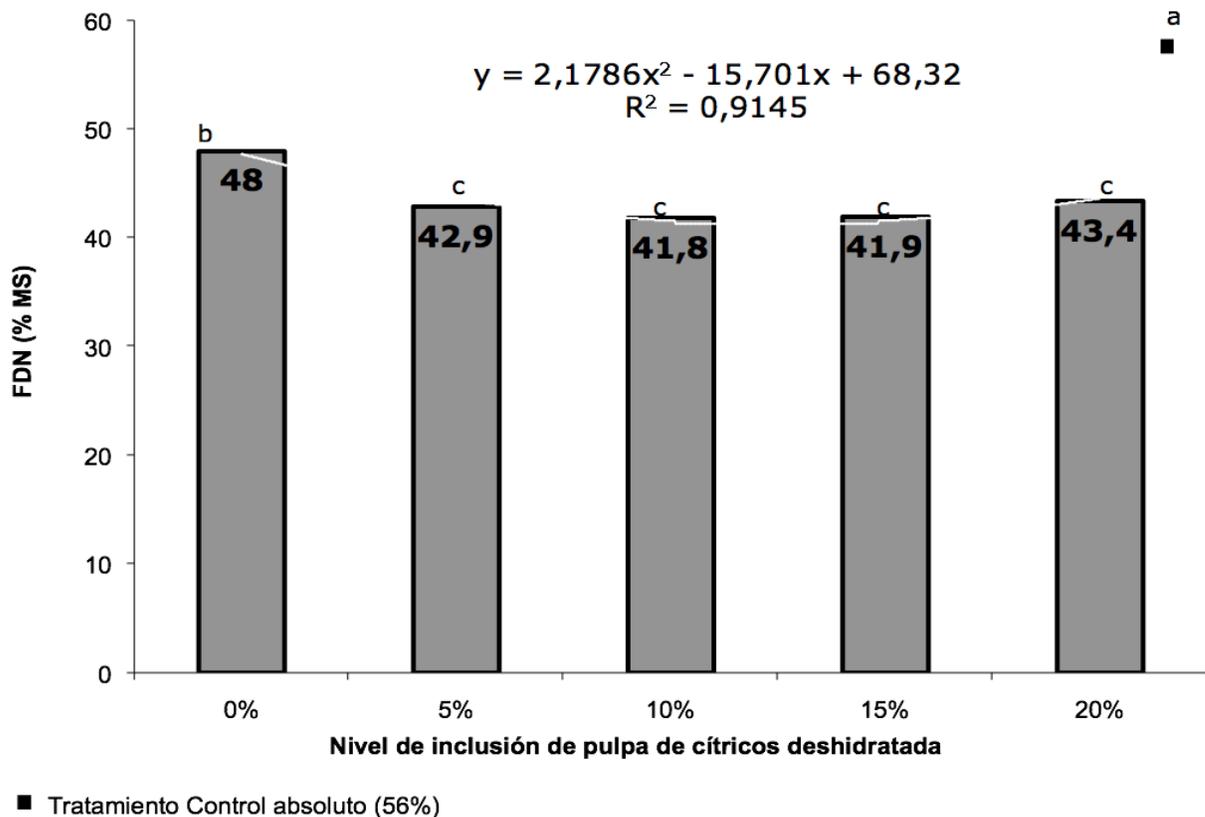


Figura 11. Variación del contenido de FDN en los ensilados de rastrojos de piña.

Los valores de FDN obtenidos en este trabajo son menores a los niveles informados por Gutiérrez *et al.* (2003) para los ensilados de desechos de piña (67,08% FDN) y para las pasturas tropicales informadas en el apartado 1 de este trabajo, pero mayores a los determinados por WingChing y Rojas (2007) para ensilados de maní forrajero ecotipo 34 (*Arachis pintoi*) cosechado a 12 semanas con valores entre 42,4 y 49,6% MS. De igual forma, los rastrojos de piña con aditivos o sin aditivos presentaron niveles de fibra mayores que los ensilados de

pejibaye (Rojas *et al.* 1990), con un rango entre 19,8 y 26,1% MS. En cambio, son similares a los resultados descritos por Tobía *et al.* (2004) para ensilado de maíz (51,7%) en cuanto al tratamiento control.

d.ii. Fibra detergente ácida (FDA)

Los valores de FDA obtenidos presentaron diferencias significativas debidas a la inclusión de la melaza y se determinó un efecto adicional por la inclusión de pulpa de cítricos deshidratadas ($p < 0,05$). Pero no se determinó diferencias entre tratamientos causadas por la inclusión de pulpa de cítricos a niveles mayores al 5% (Figura 12). También se determinó una correlación negativa entre el incremento en el nivel de pulpa de cítricos deshidratada y los contenidos de FDA del material ($\rho = -0,607$), esto provocado por el bajo nivel de FDA presente en la pulpa de cítricos (Cuadro 5).

Esta reducción en el nivel de FDA al incluir fuentes de carbohidratos mejora la calidad nutricional del material para animales rumiantes, al aumentar su digestibilidad (Cruz y Sánchez 2000).

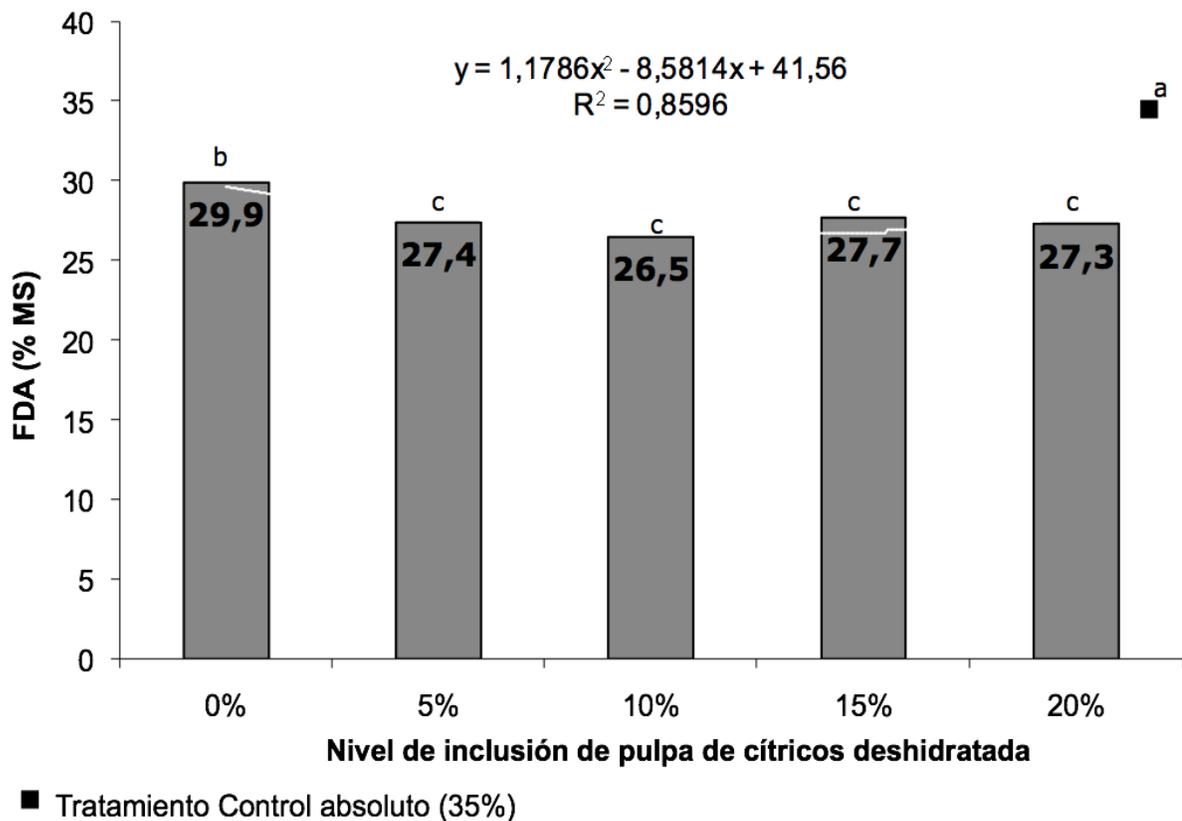


Figura 12. Variación del contenido de FDA en los ensilados de rastrojos de piña.

La valores de FDA de los ensilados de rastrojos de piña sin aditivos fue similar a la obtenida por WingChing y Rojas (2007) en ensilaje de maní forrajero (31,16 y 36,96%), por Gutiérrez *et al.* (2003) en ensilados de desechos de piña (cáscara y pulpa) (35,39% MS) y por Jones *et al.* (2004) en ensilados de sorgo (38,7% MS) y de soya (36,9 %). En cambio, los tratamientos con adición de pulpa de cítricos deshidratada presentaron concentraciones similares a los ensilados de

maíz evaluados por Jones *et al.* (2004) (27,5–34,1% MS) y a los ensilados de *Leucaena leucocephala* (Betancourt *et al.* 2002) (24,93% MS).

d.iii. Hemicelulosa, Celulosa y Lignina

En el cuadro 7, se describen los niveles de hemicelulosa, celulosa y lignina determinados para cada tratamiento. En éste, se aprecia el efecto de la adición de fuentes de carbohidratos y además un efecto adicional por la inclusión de la pulpa de cítricos deshidratada sobre la melaza; pero no se determinó diferencia significativa por niveles crecientes de pulpa para ninguna de las tres fracciones.

Cuadro 7. Valores estimados de celulosa y hemicelulosa para los tratamientos.

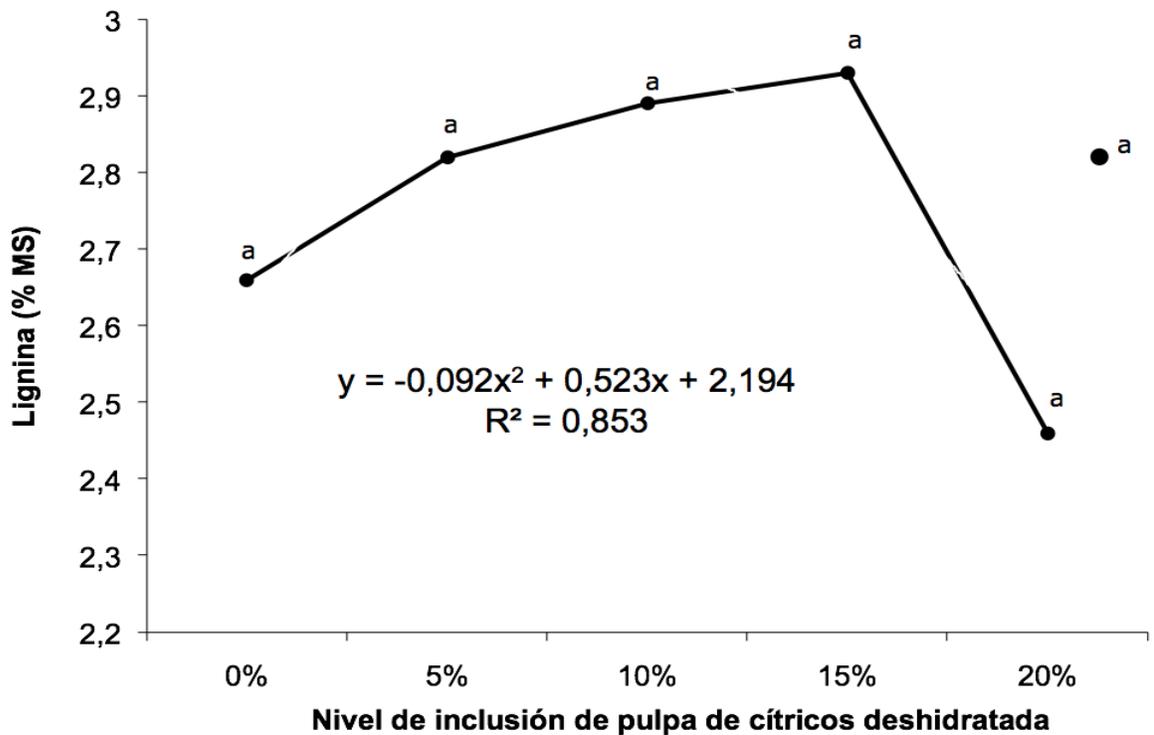
Tratamiento	Hemicelulosa* (% MS)	Celulosa (% MS)	Lignina (% MS)
Control	21,0 ^a	32,2 ^a	2,83 ^a
0% pulpa de cítricos	18,9 ^b	27,2 ^b	2,66 ^a
5% pulpa de cítricos	15,5 ^c	24,6 ^c	2,82 ^a
10% pulpa de cítricos	15,3 ^c	23,6 ^c	2,89 ^a
15% pulpa de cítricos	14,1 ^c	24,8 ^c	2,93 ^a
20% pulpa de cítricos	16,1 ^c	24,8 ^c	2,46 ^a

*Medias con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas según prueba Duncan ($p < 0,05$)

En el caso de la hemicelulosa y la celulosa los valores mayores se determinaron en el tratamiento control, en donde al agregar la melaza se obtiene una reducción del 10% en la hemicelulosa y de 15,5% en la celulosa. Mayor reducción se obtuvo al incluir la pulpa de cítricos, en donde los valores de la hemicelulosa y de la celulosa alcanzaron el 19% y 25,5% con respecto al

tratamiento control. La variación de los tratamientos con pulpa de cítricos deshidratada no resultó ser significativa.

La concentraciones de lignina en los ensilados de rastrojos de piña son más bajas que las obtenidas por Jones *et al.* (2004) para ensilados de sorgo, soya y avena, en donde determinó niveles de 6,5% MS, 6,5% MS y 5,5% MS respectivamente, también para los niveles en pastos tropicales como Estrella africana (5,27% MS), Ruzi (5,22% MS) King grass (6,89% MS) informados por Sánchez y Soto (1997), sin embargo, son similares para el ensilado de maíz (2,6–3,5% MS) (Jones *et al.* 2004). Tal comportamiento (nivel de lignina) se puede explicar ya que, la fisiología de la planta de piña es muy diferente a la de las gramíneas y las leguminosas, por lo que no hay presencia de tejido leñoso aun cuando tienen 15-16 meses de edad.



- Tratamiento Control absoluto (2,83%)

Figura 13. Variación del contenido de lignina en los ensilados de rastrojos de piña.

e. Carbohidratos no fibrosos (CNF)

Los valores determinados para cada tratamiento fluctuaron entre 23,5 y 39,1%, describiendo una tendencia cuadrática, en donde el tratamiento control presentó la menor concentración de CNF y optimizándose a un nivel de 10% de pulpa de cítricos deshidratada (Figura 14). El aporte de carbohidratos provenientes de la melaza provoca que el contenido de CNF sea mayor ($p < 0,05$). Al incluir la pulpa de cítricos deshidratada, se obtiene un incremento adicional al provocado por

la melaza ($p < 0,05$), aunque no se determinaron diferencias entre los niveles de inclusión de pulpa de cítricos deshidratadas.

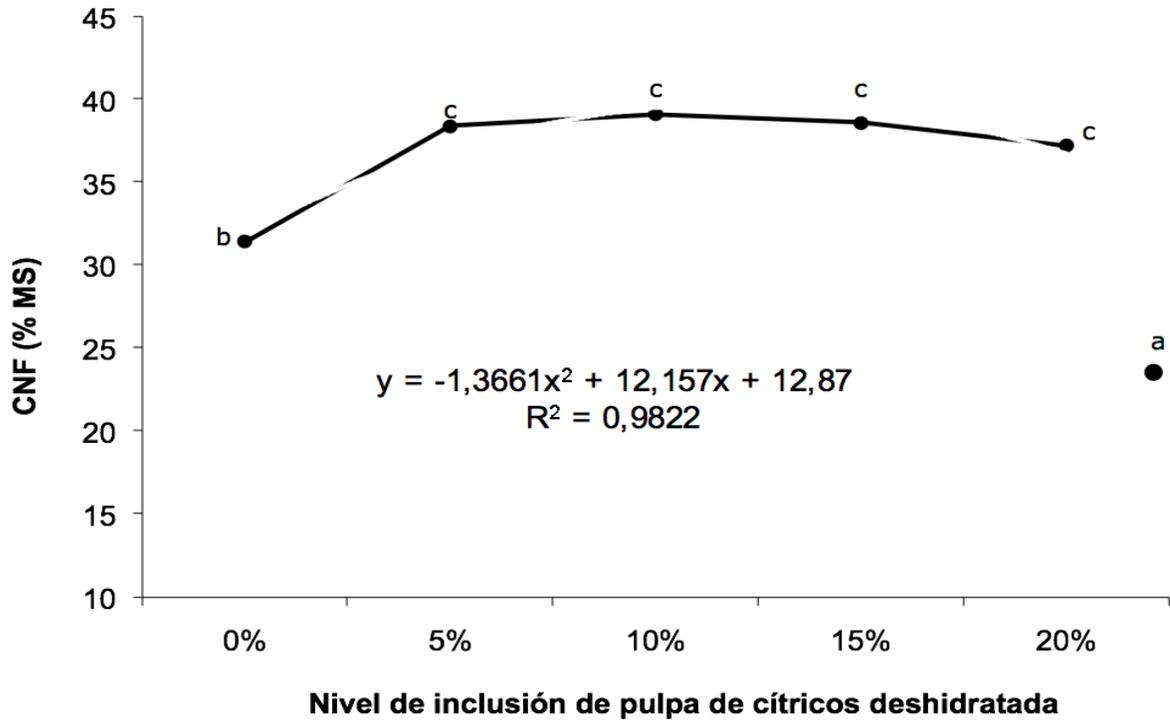


Figura 14. Variación del contenido de CNF en los ensilados de rastrojos de piña.

Los valores obtenidos en esta investigación para el tratamiento sin aditivos, son menores a los niveles descritos por el NRC (2001) para los ensilados de maíz con menos de 25% de materia seca (28,9-39,8% CNF) y a los descritos por Betancourt (2002) para ensilados de *Leucaena leucocephala* (36,7% MS); pero son mayores a los niveles de CNF para el ensilado de sorgo (19,8% MS), ensilado de

pastos con una concentración de FDN entre 55-60% (13,9% MS) y a los ensilados de leguminosas de mediana maduración con un rango de FDN entre 40 y 46% (21,9 % MS) (NRC 2001).

f. Cenizas

Los valores obtenidos en los tratamientos muestran que los valores de cenizas en los rastrojos de piña ensilados tienen un nivel mayor que las mezclas con aditivos ($p < 0,05$), en donde se obtuvo una correlación positiva ($\rho = 0,936$) (Figura 15). Por efecto de la adición de melaza, se determinó una reducción del contenido de cenizas, igual comportamiento se encontró al adicionar 5% de pulpa de cítricos deshidratada y a niveles mayores al 20% ($p < 0,05$).

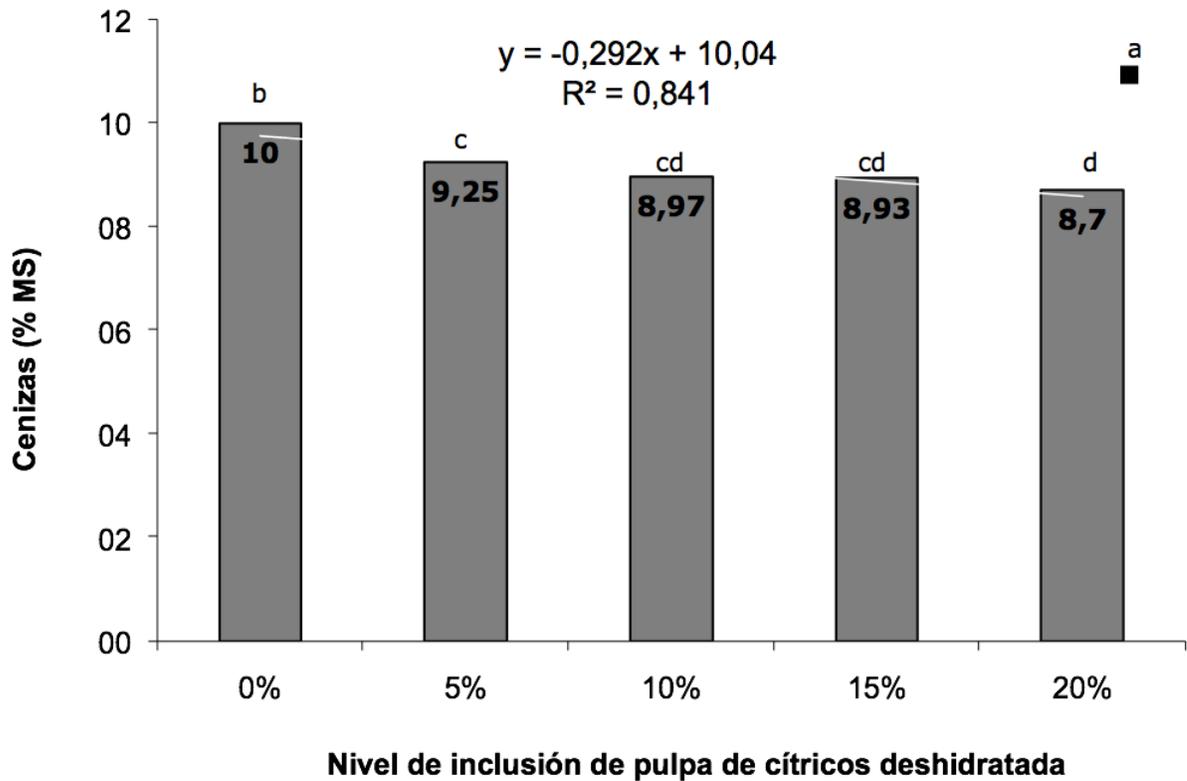


Figura 15. Variación del contenido de cenizas en los ensilados de rastrojos de pña.

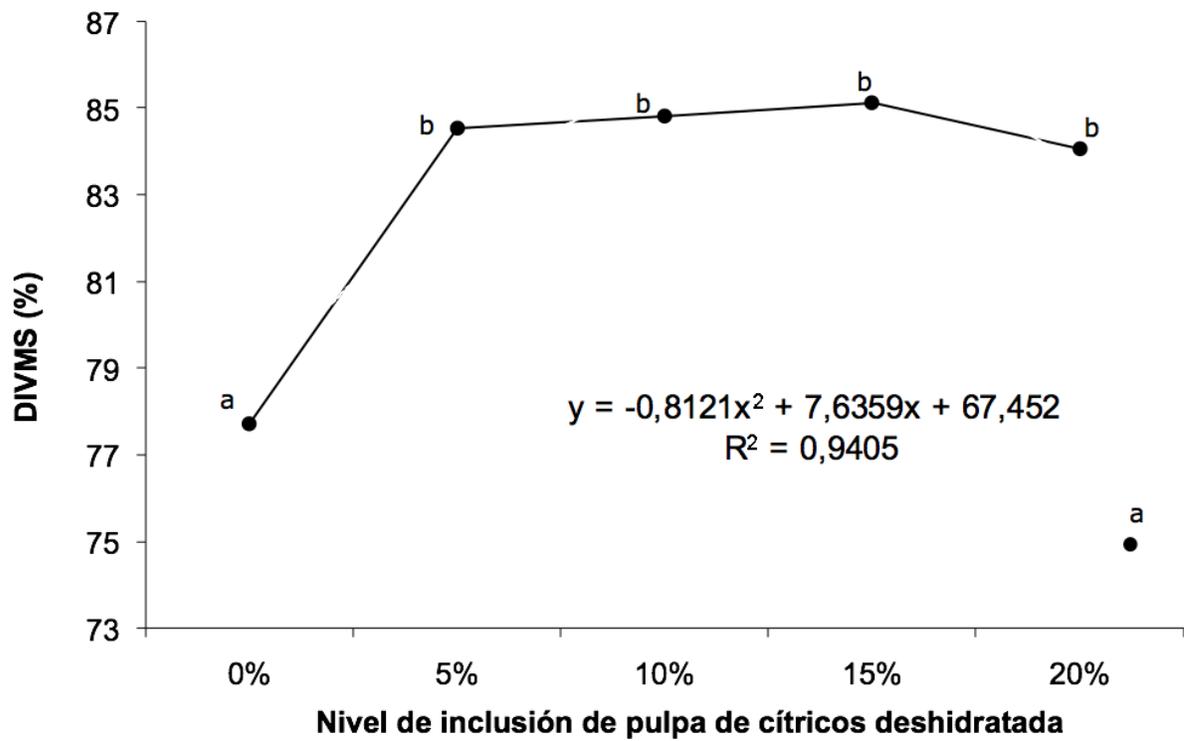
El contenido de cenizas encontrado en los rastrojos de pña ensilados es mayor que los contenidos informados por McDonald (1981) para el ensilado de maíz (5,5% MS), el ensilado de ryegrass (*Lolium perenne*) (6,8%) y para el ensilado de soya (5,5% MS) descrito por Tobía y Villalobos (2004).

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

Los resultados obtenidos en esta investigación presentaron un comportamiento cuadrático (Figura 16) y los valores fluctuaron entre 74,9 y 85,12%.

La inclusión de melaza no provocó una mejora significativa en la digestibilidad del material evaluado, en cambio, la adición de pulpa de cítricos deshidratada mejoró la digestibilidad ($p < 0,05$), pero no se encontró diferencias entre niveles de inclusión.

Los materiales ensilados presentaron una menor digestibilidad al compararse a los valores informados por Rojas *et al.* (1990) para el ensilado de pejibaye (83,71–88,20%) y a los ensilados de desechos de piña (cáscara y pulpa) descritos por Gutiérrez *et al.* (2003) (82,30%). En cambio, los resultados obtenidos en esta investigación son mayores a los informados por Kellems *et al.* (1979) (60,17%) y Lallo *et al.* (2003) (45,9%-65,3%) cuando trabajaron en ensilajes de piña.



- Tratamiento Control absoluto (74,88%)

Figura 16. Variación de la DIVMS en los ensilados de rastrojos de piña.

5. Estimación del valor energético de los ensilados de rastrojos de piña

En el cuadro 8 se exponen los datos estimados de las variables energéticas para los materiales ensilados de rastrojo de piña, como lo son: nutrientes digestibles totales (NDT), energía digestible (ED), energía metabolizable (EM), energía neta de lactancia (EN_L), energía neta de mantenimiento (EN_m) y energía neta para ganancia de peso (EN_g).

Cuadro 8. Resultados obtenidos en la estimación del valor energético en base seca de los ensilados de rastrojos de piña.

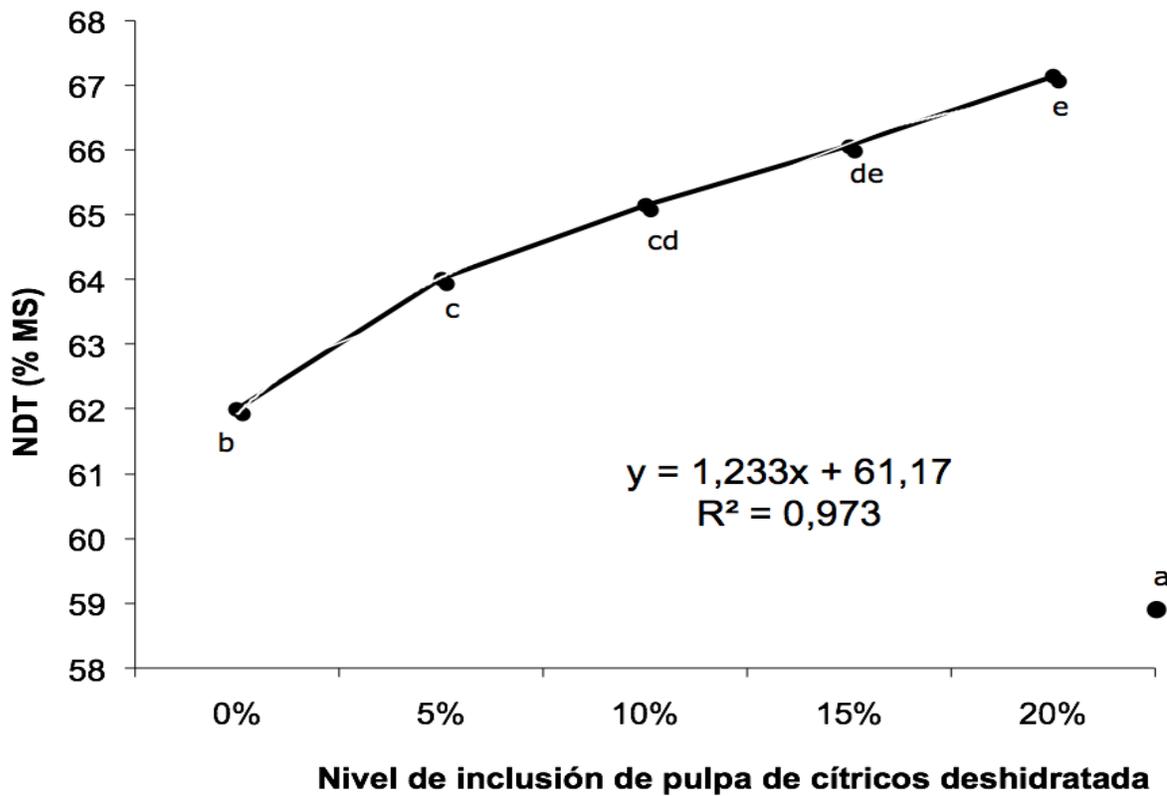
Tratamientos	NDT	ED*	EM*	EN _L *	EN _m *	EN _g *
Control (sin aditivos)	59,0 ^e	2,60 ^e	2,13 ^e	1,33 ^e	1,28 ^e	0,71 ^e
Sólo melaza	62,0 ^{ed}	2,73 ^{ed}	2,24 ^{ed}	1,40 ^{ed}	1,38 ^{ed}	0,79 ^{ed}
5% pulpa de cítricos	64,0 ^{cd}	2,82 ^{cd}	2,31 ^{cd}	1,45 ^{cd}	1,44 ^{cd}	0,86 ^{cd}
10% pulpa de cítricos	65,2 ^c	2,87 ^c	2,36 ^c	1,48 ^c	1,48 ^c	0,89 ^c
15% pulpa de cítricos	66,1 ^b	2,91 ^b	2,39 ^b	1,50 ^b	1,51 ^b	0,92 ^b
20% pulpa de cítricos	67,1 ^a	2,96 ^a	2,41 ^a	1,52 ^a	1,54 ^a	0,95 ^a

Los valores con letras diferentes en la misma columna presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

*Mcal/kg MS

La concentración de NDT y el resto de las formas de energía presentaron una correlación positiva ($\rho = 0,998$) con el incremento en la inclusión de pulpa de

cítricos deshidratada en la mezcla del ensilaje. En los tratamientos evaluados se determinó una tendencia lineal al analizar las variables energéticas, la cual se describe en la figura 17.



● Tratamiento Control absoluto (59,03%)

Figura 17. Variación del NDT y el resto de las fracciones energéticas en los ensilados de rastrojo de piña.

Con respecto a la adición de melaza a los rastrojos de piña, se encontró diferencias significativas con respecto al tratamiento testigo, además se determinó un efecto adicional sobre la melaza producto a los niveles crecientes de pulpa de

cítricos deshidratada, en donde se observó que cada 5% adicional de pulpa significa en la mezcla provoca un incremento de una unidad porcentual en los niveles de NDT.

El tratamiento sin aditivos presentó un nivel energético superior al de los forrajes utilizados en los sistemas productivos nacionales; esto se observa en el cuadro 9 cuando se compara con los valores energéticos de algunas especies de pastos como la Estrella africana, Ruzi, Kikuyo, San Juan blanco, San Juan morado y King grass informados por Sánchez y Soto (1999) además, del pasto Jaragua y Guinea informados por Sánchez (2006). También se comparó con los valores para el heno de piña producido en Hawaii (USA) indicados por Otagaki *et al.* (1961). Pero al compararlo con los valores obtenidos por Villalobos (2006) en el pasto Ryegrass se observa que presentan valores energéticos similares. Por esta razón se puede considerar como un forraje de alta calidad para la suplementación de los animales rumiantes.

Cuadro 9. Valor energético en base seca de pastos utilizados en los sistemas productivos nacionales y heno de piña.

Material	NDT	ED*	EM*	EN _L *	EN _m *	EN _g *
Estrella africana	53,8	2,37	1,95	1,20	1,10	0,54
Brachiaria ruziziensis	53,7	2,37	1,90	1,20	1,10	0,54
Kikuyo	56,7	2,50	2,05	1,27	1,20	0,63
King grass	47,8	2,11	1,73	1,05	0,89	0,35
San Juan blanco	56,2	2,48	2,03	1,26	1,18	0,62
San Juan morado	52,8	2,33	1,91	1,17	1,07	0,51
Guinea	54,4	2,40	1,97	1,21	1,12	0,56
Jaragua	49,8	2,20	1,80	1,10	0,96	0,41
Ryegrass	59,9	2,64	2,17	1,35	1,31	0,73
Heno de piña (Hawaii)	53,1	2,34	1,92	1,18	1,08	0,52

*Mcal/kg

Los tratamientos con aditivos (Cuadro 8) presentaron concentraciones energéticas que superan las de los forrajes frescos, por tal motivo se compararon estos tratamientos con forrajes ensilados producidos en Costa Rica¹ y los de forrajes producidos en zonas templadas como en los Estados Unidos y Chile entre los cuales se mencionan los ensilados de Avena y Alfalfa (Berndt 2002), también los ensilados de ryegrass (McDonald 1981), Sorgo y Soya (Jones *et al.* 2004) y maíz norteamericano informado por Jurgens (1997).

¹ Comunicación personal. Base de Datos M.Sc Augusto Rojas Bourrillon. 2008. Escuela de Zootecnia. Universidad de Costa Rica.

Cuadro 10. Valor energético en base seca de materiales ensilados en sistemas nacionales y de Estados Unidos

Material	NDT	ED*	EM*	EN _L *	EN _m *	EN _g *
Ensilado de maíz USA	70,0	3,09	2,53	1,60	1,63	1,03
Ensilado de maíz Costa Rica (Buena calidad)	61,0	2,69	2,21	1,37	1,34	0,77
Ensilado de maíz Costa Rica (Mala calidad)	58,4	2,57	2,11	1,31	1,26	0,69
Ensilado maíz-soya Costa Rica	58,8	2,59	2,13	1,32	1,27	0,70
Ensilado de avena	62,5	2,76	2,26	1,41	1,39	0,81
Ensilado de alfalfa	61,6	2,72	2,23	1,39	1,36	0,78
Ensilado de sorgo	49,8	2,20	1,80	1,10	0,96	0,41
Ensilado de soya	58,0	2,56	2,10	1,30	1,24	0,68
Ensilados ryegrass USA	73,5	3,24	2,66	1,68	1,74	1,12

*Mcal/kg

Como se observa en el cuadro 10, los rastrojos de piña ensilados con aditivos poseen características energéticas superiores que los ensilados producidos con forrajes nacionales y a los ensilados de Sorgo y Soya elaborados en los Estados Unidos; también son superiores a los ensilados de Alfalfa y Avena producidos en Chile. Sin embargo son de calidad inferior a los ensilados de maíz y ryegrass producidos en los Estados Unidos. A pesar de esta diferencia, los ensilados de rastrojos de piña con aditivos se pueden considerar como un material de alta calidad que puede sustituir al maíz como material forrajero para ensilajes

nacionales ya que, presenta 3% menos de NDT que el ensilado de maíz de alta calidad norteamericano.

6. Estimación del costo en la elaboración del ensilado de rastrojos de piña y comparación con el ensilado de maíz.

La estimación del costo del ensilado de rastrojo de piña se realizó considerando las necesidades básicas de material y otros insumos para la elaboración de una tonelada de ensilado, con adición de diferentes fuentes de carbohidratos. Para tal fin, se asumió un rendimiento de material en fresco de rastrojo de piña de 245 ton por hectárea, la cual se obtiene, de una densidad de plantas por hectárea de 70 000 al final del ciclo productivo, con un peso promedio de 3,5 kg por planta, sin considerar la parte radical.

Actualmente en los sistemas de producción de piña en la zona norte (Hacienda La Josefina y Hacienda Kruma²) el costo de eliminación de una plantación de piña por hectárea para un nuevo ciclo de cultivo ronda entre los ¢4 y ¢6 por planta, para un total por hectárea de ¢280.000 y ¢420.000, dependiendo de la eficiencia del proceso. Este costo comprende las actividades de quema de la planta e incorporación del material resultante al suelo. Para la determinación del costo de corte y picado del material (rastrojo de piña), se estimó como costo de oportunidad la eliminación del cultivo. Adicionalmente, el costo de acareo del material cosechado se fijó en ¢1.500 ton⁻¹. Según las estimaciones de rendimiento

² Comunicación personal

por hectárea y los costos de corte–picado-acarreo, la tonelada de rastrojo de piña lista para ensilar presenta un monto entre $\text{¢}2.642,9 \text{ ton}^{-1}$ y $\text{¢}3.214,3 \text{ ton}^{-1}$, respectivamente.

Para la elaboración del ensilaje se consideró el costo del plástico, el costo de los aditivos, la compactación del material y tapado del silo. La estimación de la cantidad de plástico requerida para una tonelada de ensilado se basó en un silo de montón con 1,5 m de altura, 10 m de largo y 6 metros de ancho, con una densidad del material de 650 kg/m^3 , para un total de 58,5 toneladas de material ensilado. Para cubrir este material se emplearon dos líneas de 12 metros de plástico con un ancho de 6 m, con un costo por metro lineal de plástico de $\text{¢}1.302,8$. Según la información suministrada anteriormente, se requieren $\text{¢}534,5$ de plástico para proteger una tonelada de material ensilado.

El costo de los aditivos empleados para la elaboración del ensilado de rastrojos de piña, se desglosa de la siguiente manera, la melaza se costó a $\text{¢}75 \text{ Kg}^{-1}$, la pulpa de cítricos deshidratada a $\text{¢}94,3 \text{ Kg}^{-1}$ y el inóculo bacteriano dosificado a razón de un litro de inóculo por tonelada de material un costo de $\text{¢}0,03 \text{ ton}^{-1}$.

En los cinco tratamientos que se empleó aditivos, la melaza representó una cantidad constante de 30 kg de melaza por tonelada de material, mientras la adición de pulpa de cítricos deshidratada fue de 50 kg, 100 kg, 150 kg y 200 kg por

tonelada, dependiendo del porcentaje de inclusión de 5, 10, 15 y 20 % respectivamente.

Para la compactación del material se empleó la información descrita anteriormente para el silo de montón con capacidad de 58,5 toneladas de material ensilado, en donde se necesitó de 6 horas de maquinaria y de 2 horas de mano de obra para la adición de aditivos, con un costo de $\text{¢}6.600 \text{ h}^{-1}$ y $\text{¢}650 \text{ h}^{-1}$ respectivamente. Con relación a esta información, el costo de compactación de una tonelada de material ensilado es de $\text{¢}676,9 \text{ ton}^{-1}$ y para la adición de aditivos se requiere por tonelada de material ensilado la suma de $\text{¢}22,2 \text{ ton}^{-1}$.

Por último, el costo de tapar el silo montón con capacidad de 58,56 toneladas es de $\text{¢}11,1 \text{ ton}^{-1}$, ya que para tal actividad se estimó el requerimiento de una hora peón.

Con relación a la información descrita anteriormente sobre los pasos necesarios para la realización del ensilaje de rastrojo de piña, en el cuadro 11, se resume el costo del kilo de materia seca de este tipo de ensilaje, con adiciones de dos fuentes de carbohidratos.

Cuadro 11. Estructura de costos para la elaboración de los ensilados de rastrojos de piña con adición de dos fuentes de carbohidratos.

Parámetro	Control		Solo melaza		Melaza+ 5% pulpa		Melaza+10% pulpa		Melaza+15% pulpa		Melaza+20% pulpa	
	SE	SI	SE	SI	SE	SI	SE	SI	SE	SI	SE	SI
Kilos de material ensilado	1000	1000	1030	1030	1080	1080	1130	1130	1180	1180	1230	1230
Cosecha y picado	1142,9	1714,3	1142,9	1714,3	1142,9	1714,3	1142,9	1714,3	1142,9	1714,3	1142,9	1714,3
Acarreo	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Plástico	534,5	534,5	534,5	534,5	534,5	534,5	534,5	534,5	534,5	534,5	534,5	534,5
Aditivos(Melaza)	0	0	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250
Aditivos (Pulpa de cítricos desh)	0	0	0	0	4715	4715	9430	9430	14145	14145	18860	18860
Aditivo (incoculo bacterial)	0	0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Compactación	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9	676,9
Adición de aditivos	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2
Emplástico	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
Total	3887,6	4459	6137,63	6709,03	10852,63	11424,03	15567,63	16139,03	20282,63	20854,03	24997,63	25569,03
Colones/kilo de MF	3,89	4,46	5,96	6,51	10,05	10,58	13,78	14,28	17,19	17,67	20,32	20,79
% MS	12,3	12,3	14	14	16,6	16,6	18,8	18,8	21,1	21,1	22	22
Colones/kilo de MS	31,61	36,25	42,56	46,53	60,53	63,72	73,28	75,97	81,46	83,76	92,38	94,49

SE= Sistema eficiente en la eliminación del material SI= Sistema ineficiente para la eliminación del material luego de la cosecha de la fruta de la piña.
 Tipo de cambio ¢ 495=US\$ 1.

Los costos estimados en esta investigación indican que los ensilados de rastrojos de piña son un forraje que puede ser utilizado en la alimentación de animales rumiantes con un costo por kilogramo de materia fresca y de materia seca menores a los que se presenta el ensilado de maíz con 30% de MS (¢25/kg MF y ¢85/kg MS), salvo en el caso de los ensilados con 20% de inclusión de pulpa donde, el costo por kilo de materia seca fue mayor al del ensilado de maíz.

Conclusiones

De acuerdo al resultado obtenido y discutido en las secciones anteriores se obtuvo las siguientes conclusiones sobre los rastrojos de piña ensilados.

1. La técnica de microsilos resultó eficiente para determinar la capacidad de ensilarse de los rastrojos de piña, sin embargo se presenta el inconveniente de subestimar la materia seca debido que no hay pérdida por efluentes, al contrario, los conserva y aumenta la humedad del material.
2. Los rastrojos de piña pueden ser suplementados a los rumiantes tanto frescos como ensilados, debido a que presentan niveles intermedios de nutrimentos respecto a los pastos frescos y los ensilados utilizados en la alimentación de rumiantes en condiciones tropicales.
3. Los rastrojos de piña se pueden ensilar con o sin adicionar carbohidratos, ya que el pH que se obtuvo en la mezcla control indica que sin el aditivo se puede obtener una fermentación adecuada del material. No se produjo diferencias significativas en el cambio de pH, de los ensilados a niveles menores del 20% de pulpa de cítricos deshidratada. De acuerdo a lo anterior se debe valorar

además del nivel de pH el contenido de fibra, el potencial de consumo por parte de los animales y los aportes energéticos.

4. La capacidad buffer de los tratamientos sin ensilar es similar a la de los pastos pero menor a las de las leguminosas. En el caso de las mezclas ensiladas los valores obtenidos son similares a las de otros ensilajes, las mezclas con pulpa de cítricos deshidratada fueron menores conforme se aumentó la cantidad de este aditivo, aunque no hubo diferencias significativas cuando la inclusión de pulpa de cítricos fue menor al 20%.
5. La pulpa de cítricos deshidratada contribuyó en la mezcla del ensilaje al aumentar el nivel de materia seca de los materiales ensilados además, introduce nutrimentos más digestibles por lo que los ensilados de rastrojo con esta materia prima son más energéticos que aquellos que contienen únicamente melaza o los rastrojos que no contienen aditivos.
6. Los niveles de proteína de los rastrojos de piña en fresco y de los ensilados son bajos, además, la inclusión de pulpa de cítricos deshidratada provoca que se diluya aún más la proteína.

7. Aproximadamente entre 15 y 20% de los componentes nitrogenados de los ensilados de rastrojos de piña son indigestibles (fracción C), según sea la inclusión de pulpa de cítricos deshidratada en la mezcla de los tratamientos.
8. El nivel de FDN y FDA en los rastrojos ensilados y sin ensilar es similar en el tratamiento sin aditivos, pero menor en los tratamientos con inclusión de aditivos al compararse con pastos de regiones tropicales. El valor de la FDN se reduce en un 2,95% al pasar el material de fresco a ensilado, esto se debe a que algunos componentes de la FDN se hacen más disponibles al momento de la fermentación. Esta reducción en el contenido de la FDN estimula el consumo por el animal al reducir el llenado físico del tracto gastrointestinal de los rumiantes y la reducción de la FDA aumenta la digestibilidad de los ensilados obtenidos.
9. El contenido de lignina es menor al que presentan los pastos y los ensilados tropicales, a pesar de ser una planta de más de 15 meses de edad, esto debido a su conformación fisiológica distinta a la de los forrajes utilizados en los sistemas de producción.
10. Las cenizas se diluyen conforme aumenta la inclusión de aditivos primero con la melaza y luego al aumentar la inclusión de pulpa de cítricos deshidratada,

esto se debe al contenido de esta fracción en los aditivos y a la inclusión o no de tierra en el proceso de almacenaje del material.

11. La Digestibilidad *in Vitro* de la Materia Seca de los materiales aumenta con la adición de melaza y se produce un efecto adicional al incluir pulpa de cítricos deshidratada en la mezcla para ensilar, sin embargo no hay diferencia entre niveles de inclusión.
12. La energía de los ensilados de rastrojos de piña se incrementa con la inclusión de los aditivos. La melaza aumenta la energía y la pulpa de cítricos deshidratada produce un efecto adicional en la mezcla, alcanzando niveles cercanos y superiores al ensilaje de maíz.
13. Los costos de los ensilados de rastrojos de piña son menores a los determinados para los ensilados de maíz, por lo que podrían considerarse como un forraje de menor costo para emplearse en la alimentación de animales rumiantes.

Recomendaciones

Con el fin de mejorar la labor investigativa y enriquecer el conocimiento de la presente investigación, se recomiendan las siguientes actividades.

1. Llevar esta experiencia al campo de manera que se obtenga una apreciación más práctica, para los ensilados de rastrojos de piña.
2. Para el fortalecimiento de la proteína en los ensilados de rastrojos de piña se recomienda el empleo de fuentes altas en nitrógeno como la urea, soya, o ensilar los rastrojos con otros forrajes como las leguminosas.
3. Realizar análisis de metales pesados y plaguicidas a los materiales obtenidos de fincas de producción convencional, de manera que se evite la intoxicación de los animales y de las personas con radicales de plaguicidas
4. Pruebas de palatabilidad y respuesta animal (nivel productivo, conteo de células somáticas, ganancia de peso diaria, etc.) son necesarias para complementar esta investigación, de modo que se pueda determinar el efecto que tienen los ensilajes de rastrojos de piña en la producción lechera y la ganancia de peso.

5. Realizar una comparación de los niveles de bromelina en la planta antes y después del proceso de ensilaje de modo que se pueda determinar si hay pérdidas de dicha enzima con el ensilaje y si la hay, en que proporción. Además analizar si hay efecto de la bromelina presente en la planta de la piña sobre el conteo de células somáticas y la incidencia de mastitis del ganado.

Anexos

Anexo 1. Cuadro comparativo de los ensilados obtenidos en la presente investigación.

	Control Absoluto	0 % citrocom	5 % citrocom	10 % citrocom	15 % citrocom	20 % citrocom	Ensilaje de maíz*
Características fermentativas							
pH	4,40 ^a	3,53 ^b	3,33 ^{bc}	3,45 ^{bc}	3,62 ^c	3,46 ^{bc}	3,55
Capacidad amortiguadora (mEq NaOH/100g MS)	139,28 ^a	91,71 ^b	86,59 ^{bc}	74,11 ^{bc}	75,21 ^{bc}	69,14 ^c	73,46
Nitrógeno amoniacal (% N-NH ₃ / NT)	6,69 ^a	3,99 ^b	3,27 ^{bc}	2,84 ^{cd}	2,67 ^d	2,36 ^{cd}	12,15
Características nutricionales							
Materia seca (%)	12,3 ^a	14,0 ^a	16,6 ^b	18,8 ^{bc}	21,1 ^{cd}	22,0 ^d	19,28
Proteína cruda (% MS)	8,08 ^{ab}	8,24 ^a	7,84 ^{abc}	7,56 ^{bcd}	7,50 ^{cd}	7,08 ^d	8,14
Extracto etéreo (% MS)	1,71 ^a	1,56 ^a	1,64 ^a	1,82 ^b	1,73 ^c	1,91 ^c	2,39
Fibra detergente neutro (% MS)	56,0 ^a	48,0 ^b	42,9 ^c	41,8 ^c	41,9 ^c	43,4 ^c	57,1
Fibra detergente ácido (% MS)	35,0 ^a	29,9 ^b	27,4 ^c	26,5 ^c	27,7 ^c	27,3 ^c	34,3
Celulosa (% MS)	32,2 ^a	27,2 ^b	24,6 ^c	23,6 ^c	24,8 ^c	24,8 ^c	29,6
Hemicelulosa (% MS)	21,0 ^a	18,9 ^b	15,5 ^c	15,3 ^c	14,1 ^c	16,1 ^c	22,8
Lignina (% MS)	2,83 ^a	2,66 ^a	2,82 ^a	2,89 ^a	2,93 ^a	2,46 ^a	4,69
Carbohidratos no fibrosos (% MS)	23,5 ^a	31,4 ^b	38,5 ^c	39,1 ^c	38,6 ^c	37,2 ^c	23,2
Cenizas (% MS)	10,8 ^a	10,0 ^b	9,3 ^c	9,0 ^{cd}	8,9 ^{cd}	8,7 ^d	6,21
DIVMS (%)	74,88 ^a	77,72 ^a	84,54 ^b	84,82 ^b	85,12 ^b	84,06 ^b	-
Características energéticas							
NDT (%)	59,03 ^a	61,96 ^b	64,01 ^c	65,15 ^{cd}	66,06 ^{de}	67,14 ^e	60,91
Energía digestible (Mcal ED/Kg. MS)	2,60 ^a	2,73 ^b	2,82 ^c	2,87 ^{cd}	2,91 ^{de}	2,96 ^e	2,68
Energía metabolizable (Mcal EM/ Kg. MS)	2,13 ^a	2,24 ^b	2,31 ^c	2,36 ^{cd}	2,39 ^{de}	2,43 ^e	2,20
Energía neta de mantenimiento (Mcal ENm/kg. MS)	1,28 ^a	1,38 ^b	1,44 ^c	1,48 ^{cd}	1,51 ^{de}	1,54 ^e	1,34
Energía neta de lactancia (Mcal ENl/kg. MS)	1,33 ^a	1,40 ^b	1,45 ^c	1,48 ^{cd}	1,50 ^{de}	1,52 ^e	1,37
Energía neta de ganancia (Mcal ENg/kg. MS)	0,71 ^a	0,79 ^b	0,86 ^c	0,89 ^{cd}	0,92 ^{de}	0,95 ^e	0,76

* Tomado de Betancourt (2004).

Los valores con letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes (p<0,05)

Literatura consultada

- ARROYO G. R. A. 1977. Evaluación de la calidad y niveles de nutrientes de algunos ensilajes en la zona lechera de altura. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 75 pp.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST (AOAC). 1991. Methods of analysis. Washington D.C.
- 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
- BELYEA R., STEEVENS B., GARNER G., WHITTIER J., SEWELL H. 1996. Using NDF and ADF To Balance Diets. Missouri University Extension: G3161. USA.
- BERNDT S. A. 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. C, 2004. Caracterización nutricional y productiva de material fresco y ensilado de maní forrajero (*Arachis pintoi*) cultivado en asocio con maíz (*Zea mays*), a tres densidades de siembra. Tesis para optar al grado de Master Scientiae en ciencias agrícolas y recursos naturales. 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., GONZALEZ I., MARTINEZ DE ACURERO M. 2005. Evaluación de la calidad de los ensilajes. Revista Digital Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. No8 mayo-agosto. Maracay, Aragua, Venezuela. 1-5 pp.

BLAS C., MATEOS G. G., REBOLLAR P. G. 2003. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España. 423 pp.

CALABRO S., CUTRIGNELLI M. I., PICCOLO G., BOVERA F., ZICARELLI F., GAZANEO M. P., INFASCELLI F. 2005. In Vitro fermentation kinetics of fresh and dried silage. Animal Feed Science and Technology. No 123-124. 129-137 pp.

CANAPEP. 2005. Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña. Boletín Digital (<http://canapep.com/produccion.html>). Página única.

- CHURCH D. C., POND W. G., POND K. R. 2003. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. LIMUSA WILEY. México D.F. 636 pp.
- COLLINS J. L. 1960. The pineapple. Botany, Cultivation and Utilization. Interscience Publishers Inc. New York. 350 pp.
- CORFOGA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. 2000. Censo Bovino. Costa Rica
- CRUZ M., SANCHEZ J. M. 2000. La fibra en la alimentación del ganado lechero. Revista Nutrición Animal Tropical. 6(1). 39-75 pp.
- EARTH. 2004. Perfil de producto. Piña. Centro de formación empresarial. 4 pp.
- EASTRIDGE M. 1994. Influence of fiber intake on animal health and productivity. Tri-State Dairy Nutrition Conference. 45 pp.
- ELFERINK O., DRIEHUIS F., GOTTSCHAL J. C., SPOELSTRA S.F. 2005. Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación. Institute for Animal Science and Health. Holanda. 1-14 pp.
- ESPERANCE M., OJEDA F., CÁCERES O. 1981. Marco fermentativo, valor nutritivo y producción de leche con hierba pangola ensilada con ácido fórmico o miel. Pastos y Forrajes. Revista de la EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. 4. 237 pp.

ESPINOZA F., ARGENTI P., GIL J. L., LEON L., PERDOMO E. 2001.

Evaluación del pasto King grass (*Pennisetum purpureum* cv King grass) en asociación con leguminosas forrajeras. Revista Zootecnia Tropical. 19 (1). 59-71pp.

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. 4pp.

FERNANDEZ G., POMILLO A. 2003. Optimized growth conditions and determination of the catalytic type of the peptidase complex from novel callus culture of pineapple (*Ananas comosus*). Molecular Medicinal Chemistry. Vol. 1. 39-49 pp.

FERNANDEZ R. J., CHAVEZ M. I., VIRGÜEZ D. R., GARCIA M. 1991. Efecto de la frecuencia de corte sobre el rendimiento y valor nutritivo del pasto estrella (*Cynodon nlemfluencis*) en la unidad agroecológica 3E 144 del valle de Aroa. Revista Zootecnia Tropical. 9(2) 165-179 pp.

FISHER D. S., BURNS J. C. 1987. Quality analysis of summer-annual forages .

I. Sample preparation methods and chemical characterization of forage types and cultivars. Agronomy Journal. 79. 236-242pp.

GIGER-RIVERDIN S., DUVAUX-PONTER C., SAUVANT D., MARTIN O.,

NUNES DO PRADO I., MÜLLER R. 2002. Intrinsic buffering capacity of feedstuffs. Animal Feed Science and Technology. 96. 83-102 p.

- GUTIÉRREZ F., ROJAS-BOURRILLÓN A., DORMOND H., POORE M.,
WINGCHING JONES R. 2003. Características nutricionales y fermentativas de
mezclas ensiladas de desechos de piña y avícolas. *Agronomía Costarricense*.
27(1): 79-89pp.
- HEPTON A. 2003. *Culture System. The pineapple: botany, production and
uses*. CABI Publishing, Wallingford. 109-142pp.
- JONES C. M., HEINRICHS A. J., ROTH G. W., ISHLER V. A. 2004. From
harvest to feed: Understanding silage management. Pennsylvania State
University. College of Agricultural Sciences. 2-11 pp.
- JURGENS M. 1997. *Animal feeding and nutrition*. 8 edition. Kendall/Hunt
Publishing Co. Dubuque, Iowa. USA. 112 pp.
- KELLEMS R. O., WAYMAN O., NGUYEN A. H., NOLAN J. C., CAMPBELL C.
M., CARPENTER J. R. HO-A E. B. 1979. Post-harvest pineapple plant forage
as a potential feedstuff for beef cattle: Evaluated by laboratory analyses, in
vitro and in vivo digestibility and feedlot trials. *Journal of Animal Science*.
48(5). 1040-1048pp.
- LALLO F. H., NUNES I., GONÇALVES W., ZEOULA L. M., 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*. 32(3) Brasil. 719-726 pp.

- LUCHINI N. D., BRODERICK G. A., COMBS D. K. 1996. Characterization of the proteolytic activity of commercial proteases and strained ruminal fluid. *Journal of Animal Science*. 74(11). 685-692pp.
- McDONALD P. 1981. *The Biochemistry of Silage*. John Wiley & Sons. Ltd. New York. 226 pp.
- McDONALD P., HENDERSON A. R. 1962. Buffering capacities of herbage samples as factor of silage. *J. Sci. Food. Agric.* 13. 395 – 400pp.
- MEJÍA D., DE LA CRUZ J., GARCÍA H. S. 2001. Operaciones postcosecha de la piña. Instituto Tecnológico de Veracruz. México. 10 pp.
- MILLS H. A., JONES J. B. 1996. *Plant analysis Handbook II. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide*. Micromacro Publishing Inc. Georgia. 251 pp.
- MOORE K. J., PETERSON M. A. 1995. Post-Harvest physiology and preservation of forages. *Crop Science Society of America Inc. Special publication No 22*. Wisconsin, USA. 91-107 p.
- MORENO A. H. 1977. Evaluación de ensilajes de pasto 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. R. 2005. Uso de aditivos para mejorar el ensilaje de los forrajes tropicales. Departamento de Zootecnia. Universidad Federal de Río Grande del Sur. Porto Alegre. Brasil. 50-68pp.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th ed. National Academy Press. Washington DC. 13-18pp.
- OFFICE OF THE GENE TECHNOLOGY REGULATOR. 2003. The Biology & Ecology of Pineapple (*Ananas comosus* var. *comosus*) in Australia. Australia. 6 pp.
- OJEDA F., CÁCERES O., ESPERANCE M. 1991. Conservación de Forrajes. Editorial Pueblo y Educación. 80pp.
- OTAGAKI K., LOFGREEN G. P., COBB E. 1961. Net energy of pineapple bran and pineapple hay fed to lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 44 (8). 491-497 pp.
- OTAGAKI K., MORITA K. 1960. Hawaii Agricultural Experiment Station. Technical Paper No. 450°.
- PAAPE. 2000. Next stop- The Health Food Store. Dairy Digest. Dairy and Animal Science. Pennsylvania State University. 3 pp.
- PAGÁN S. 2006. Caracterización del proceso fermentativo de ensilajes de residuos orgánicos de plantas procesadoras de piña (*Ananas comosus*) y china (*citrus sinensis*) y su evaluación en dietas para ovinos. Tesis presentada para optar por el grado de Master Scientiae en Industria Pecuaria. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico. 79 pp.
- PALAFIX, A., RELD, D. F. 1961. Hawaii Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin No. 48pp.

- PEÑA, H. 1984. Aporte de nutrientes de las plantas de piña en demolición, cv Española roja. Manuscrito. ISACA.
- PEÑA P. M., DEL POZO P. 1992. Explotación de pastos y forrajes. ISCAH: La Habana, Cuba. 106 pp.
- PHONBUMRUNG T., KHEMSAWAS C. 2000. Crop waste utilization in commercial feedlot in Thailand. Department of Livestock Development. Animal Nutrition Division. Thailand. 184-187pp.
- PILTZ J. W., KAISER A. G., HAMILTON J. F., HAVILAH E. J. 2005. El empleo de melazas para mejorar la fermentación de ensilajes de pasto kikuyo con bajo contenido de materia seca. Wagga Wagga Agricultural Institute. Australia. 6-7 pp.
- PLAYNE M. J., McDONALD P. 1966. The buffering constituents of herbage and of silage. Journal of the Science of Food and Agr. 17. 264-268 pp.
- PY C. 1968a. La piña tropical. Editorial Blume. Barcelona. España. 225pp.
- PY C. 1968b. La piña. Edición Revolucionaria. La Habana. Cuba. 267 pp.
- PY C., LACOEUILHE J. J., TEISSON C. 1984. L'ananas: sa culture, ses produits. Maisonneuve & Larose. Paris. Francia. 562 pp.

- QUIJANDRIA G., BERROCAL J., PRATT L. 1997. La industria de la piña en Costa Rica. Análisis de sostenibilidad. Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible (CLACDS-INCAE). Costa Rica. 24 pp.
- REBOLLEDO A., PÉREZ A., REBOLLEDO L., BECERRIL A. E., URIZA D. 2006. Rendimiento y calidad de fruto de cultivares de piña en densidades de plantación. Revista Fitotecnia Mexicana. Chapingo. México. Vol. 29 número 001. 55-62pp.
- REBOLLEDO A., URIZA D., REBOLLEDO L. 1998. Tecnología para la producción de piña en México. INIFAP. México. Folleto técnico N° 20.
- ROJAS A., CHAVEZ A., ARROYO C. 1990. Características nutricionales y fermentativas del ensilaje de fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes*). Revista Agronomía Costarricense. 14(2). 157-160 pp.
- ROJAS A., GOMEZ A., AGUIRRE D. 1995. Caracterización nutricional y digestibilidad *in vitro* del ensilaje de mezclas de fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes*) y Morera (*Morus alba*). Revista Agronomía Costarricense. 19(2). 39-43 pp.
- ROJAS A., QUAN A., ROJAS M., VILLAREAL M. 1999. Validación del uso de maní forrajero (*Arachis pinto*) en la crianza de terneras de lechería. II. Utilización como forraje de corte. Revista Agronomía Costarricense. 23(1). Costa Rica. 13-19 pp.

- ROJAS A., UGALDE H., AGUIRRE D. 1998. Efecto de la adición de fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes*) sobre las características nutricionales del ensilaje de pasto gigante (*Pennisetum purpureum*). Revista Agronomía Costarricense. 22(2). Costa Rica. 145-151 pp.
- ROJAS T., CALVO B., PORRAS S., CHAVARRIA 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. Universidad Nacional Autónoma. Costa Rica. Volumen 4. Número 3. 3pp.
- SAMSON, J. A. 1991. Fruticultura tropical. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México, D.F. 396 pp.
- SÁNCHEZ J. M. 2006. Valor nutricional de los forrajes de Costa Rica. Boletín Centro Investigaciones en Nutrición Animal. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- SÁNCHEZ J. M., 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 pp.
- SÁNCHEZ J. M., SOTO H. 1999. 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 pp.
- SÁNCHEZ J. M., SOTO H. 1999. Contenido de energía estimado para el crecimiento del ganado bovino, en los forrajes del trópico húmedo de Costa Rica. Agronomía Costarricense. 23 (2). Costa Rica. 173-178 pp.

- SÁNCHEZ J. V., CARAVEO F. 1996. El sistema-producto piña en México: situación, tendencias, problemática y alternativas. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 107 pp.
- SAS. 1985. SAS/STAT. Guide for personal computers. 5 ed. SAS Inst. Inc. Cary, N. C. USA. 378 pp.
- SMITH D., BULA R. J., WALGENBACH R. P. 1986. Legume and grass silaje. *In Forage Management*. Kendall Hunt Publication. Dubuque. IA. 231-238pp.
- SOLANO F., ACUÑA R. 1993. Erosión hídrica y evaluación de prácticas de conservación de suelos bajo cultivo de piña Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en geografía con énfasis en geografía aplicada. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 33-130pp.
- TOBIA 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. *Revista Agronomía Costarricense*. 28 (2). 27 - 35pp.
- TOBIA C., SEQUERA C., VILLALOBOS E., CIOFFI R., ESCOBAR O. 2007. Experiencias en la elaboración de ensilajes de maíz-soya en dos sistemas de producción bovina en Venezuela. XI Seminario manejo y utilización de pastos y forrajes en sistemas de producción. UPEL. Barquisimeto. Venezuela. 78-87 pp.

- TOBIA C., VILLALOBOS E. 2004. Producción y valor nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. Revista Agronomía Costarricense. 28(1). 17-25 pp.
- VAN SOEST P. J., ROBERTSON, J., LEWIS B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science. 74: 3583 – 3591pp.
- VAN SOEST P. J., ROBERTSON, J. B. 1985. Analysis of forages and fibrous food. AS 613. Cornell University, A Laboratory Manual. Department of Animal Science. Ithaca NY. 613 pp.
- VARGAS R. 1979. Determinación de la composición química y el valor nutritivo del pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) ensilado en microsilos con tres niveles de melaza. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en ingeniería agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 37pp.
- VILELA D. 1998. Aditivos para silagem de plantas de clima tropical. Simpósio sobre aditivos na produção de ruminantes e não-ruminantes. Anais dos Simpósios, XXXV Reunião da SBZ. F.S Wechsler. 73-108p
- VILLALOBOS L. 2006. Disponibilidad y valor nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) en las zonas altas de Costa Rica. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 110 pp.
- WATTIAUX M. 1999. Introducción al proceso de ensilaje. Instituto Babcock. Universidad de Wisconsin. Feeding N° 502.

WEISS W.P. 1992. Energy prediction equations for ruminant feeds.

Department of Animal Sciences. Ohio State University, Wooster. 7 p.

WINGCHING R., ROJAS A. 2007. Dinámica fermentativa y fraccionamiento

protéico durante el ensilaje de maní forrajero (CIAT 17434). Revista

Agronomía Mesoamericana. 18(1). 70 pp.