



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA
AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA: EFECTO DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO SOBRE EL
VALOR NUTRICIONAL DE LA TORTA DE PALMISTE**

AUTOR: RIVADENEIRA PUGA, INGRID MICHELLE

DIRECTOR: ING. VELA TORMEN, DIEGO ALFONSO

SANGOLQUÍ

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA
AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “*EFECTO DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO SOBRE EL VALOR NUTRICIONAL DE LA TORTA DE PALMISTE*” realizado por la señorita *INGRID MICHELLE RIVADENEIRA PUGA*, ha sido revisado en su totalidad por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita *INGRID MICHELLE RIVADENEIRA PUGA* para que lo sustente públicamente.

Sangolqui, 19 de enero del 2018



Ingeniero Diego Vela
DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA
AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **INGRID MICHELLE RIVADENEIRA PUGA**, con cédula de identidad N° 1722218516, declaro que este trabajo de titulación, "**EFFECTO DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO SOBRE EL VALOR NUTRICIONAL DE LA TORTA DE PALMISTE**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolqui, 19 de enero del 2018

Ingrid Michelle Rivadeneira Puga
C.C. 1722218516



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA
AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

AUTORIZACIÓN

Yo, **INGRID MICHELLE RIVADENEIRA PUGA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**EFECTO DEL HIDRÓXIDO DE CALCIO SOBRE EL VALOR NUTRICIONAL DE LA TORTA DE PALMISTE**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolqui, 19 de enero del 2018

Ingrid Michelle Rivadeneira Puga

C.C. 1722218516

DEDICATORIA

A mi madre,
por su esfuerzo y compromiso

A mi querida Tía Ena,
Por todo el cariño brindado.

AGRADECIMIENTO

A mi madre Azucena por haber luchado tanto por sacarnos a delante, por ser una mujer fuerte y no haberse dejado vencer por las adversidades y por procurar que nunca nos falte nada, gracias madre esto es por ti. Te amo.

A mis hermanos Paul y Erick los dos grandes hombres de mi vida, por ser un apoyo y un ejemplo para mí, por siempre estar conmigo, por su amor y consejos los amo hermanos.

A mi Tía Ena, Flaquita y Rosi, por todo el cariño y cuidados que me brindaron, por encontrar en Uds un segundo hogar, les estaré eternamente agradecida.

Al Ing, Diego Vela por permitirme realizar mi proyecto con usted y por toda la consideración hacia mí, por ser un gran maestro.

Al Doctor Christian Ponce, por todo el apoyo brindado y por haber sido un ejemplo a seguir, gracias por compartir todo su conocimiento y experiencia, para mí fue un verdadero honor haber podido trabajar con usted.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 El Problema.....	3
1.2.1 Los Efectos.....	3
1.2.2 Las Causas	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Hipótesis	4

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Torta de palmiste.....	5
2.2 Valor nutritivo de la torta de palmiste	5
2.3 Hidróxido de calcio Ca (OH) ₂	5
2.4 Técnicas de valoración nutricional de ingredientes para rumiantes	6
2.4.1 Digestibilidad.....	6
2.4.1.1 Digestibilidad <i>in vivo</i>	6

2.4.1.2	Digestibilidad <i>in vitro</i>	7
2.4.1.3	Digestibilidad <i>in situ</i>	7
2.4.2	Técnicas de valoración de compuestos nutricionales	9
2.4.2.1	Análisis proximal	9
2.4.2.2	Método de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRs)	11

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

13

3.1	Ubicación del lugar de investigación	13
3.1.1	Ubicación ecológica	13
3.2	Materiales	14
3.2.1	Fase de preparación del sustrato	14
3.2.2	Fase de adaptación de animales	14
3.2.3	Fase de digestibilidad <i>in situ</i>	14
3.2.4	Fase de análisis proximal	14
3.3	Métodos	15
3.3.1	Tratamiento con hidróxido de calcio	15
3.3.2	Análisis de la composición nutricional de la torta de palmiste mediante el análisis proximal	15
3.3.3	Evaluación de la digestibilidad de nutrientes mediante la técnica de incubación <i>in situ</i> en el rumen de vacas lecheras	16
3.3.3.1	Manejo de animales	16
3.3.3.2	Digestibilidad <i>in situ</i>	16
3.3.4	Diseño experimental	17
3.3.4.1	Factores	17
3.3.4.2	Tratamientos a comparar	18
3.3.4.3	Tipo de diseño	18
3.3.4.4	Repeticiones	18

3.3.4.5	Características de las Unidades Experimentales.....	18
3.3.4.6	Croquis del diseño.....	19
3.3.5	Variables del estudio.....	19
3.3.5.1	Análisis proximal antes y después de la aplicación del tratamiento con hidróxido de calcio del palmiste	19
3.3.5.2	Análisis proximal y digestibilidad de: proteína cruda, fibra cruda, grasa, ceniza, extracto libre de nitrógeno a diferentes tiempos de incubación <i>in situ</i> (0,3,6,9,12,18,24,48,72,96 horas) mediante la utilización del método NIRs	19
3.3.5.3	Degradación y degradabilidad efectiva, mediante regresión no lineal de cada nutriente con ecuaciones descritas por Orskov y McDonald (1981)...	20
3.3.5.4	Cálculo de Energía mediante el sistema desarrollado por la Universidad de California (2001).....	20
3.3.6	Análisis estadístico.....	21
3.3.6.1	Esquema de análisis de varianza.....	21
3.3.6.2	Coefficiente de variación	22
3.3.6.3	Análisis funcional	22
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		23
4.1	Resultados.....	23
4.1.1	Digestibilidad <i>in situ</i> de materia seca	23
4.1.2	Digestibilidad <i>in situ</i> de materia orgánica	24
4.1.3	Digestibilidad <i>in situ</i> de proteína.....	26
4.1.4	Digestibilidad <i>in situ</i> de grasa.....	27
4.1.5	Digestibilidad <i>in situ</i> de fibra.....	28
4.1.6	Digestibilidad <i>in situ</i> de extracto libre de nitrógeno	30
4.1.7	Determinación de Energía en rumiantes	31

4.1.8	Análisis proximal	32
4.1.9	Cinética de degradación ruminal	33
4.1.10	Comparación del valor energético del palmiste.....	34
4.1.11	Comparación de la energía neta de lactancia ENL y la digestibilidad <i>in situ</i> de fibra	34
4.1.12	Margen de ganancia de palmiste en base a distintos niveles de digestibilidad <i>in situ</i> de fibra.....	35
4.1.13	Curva de digestibilidad de palmiste en equipo NIRs	36
4.2	Discusión.....	38

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		41
5.1	Conclusiones	41
5.2	Recomendaciones	41
5.3	Bibliografía	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Número de muestras por tratamiento	18
Tabla 2	Disposición del experimento en campo	19
Tabla 3	Análisis de varianza para el diseño experimental del estudio.....	21
Tabla 4	Digestibilidad <i>in situ</i> de materia seca (DIMS), en los tiempos 3, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72 y 96 de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio.....	23
Tabla 5	Digestibilidad <i>in situ</i> de materia orgánica (DIMO) en los tiempos 3, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72, 96 de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio.....	25
Tabla 6	Digestibilidad <i>in situ</i> de proteína (DIP) en los tiempos 3, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72 y 96 de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio.....	26
Tabla 7	Digestibilidad <i>in situ</i> de grasa (DIG) en los tiempos 3, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72, 96 de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio.....	27
Tabla 8	Digestibilidad <i>in situ</i> de fibra (DIF) en los tiempos 0, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72, 96 de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de calcio	29
Tabla 9	Digestibilidad <i>in situ</i> de ELN los tiempos 0,3,6,9,12,18,24,48,72, 96 de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio.....	30
Tabla 10	Determinación de energía en el tiempo de 48 horas de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio	31
Tabla 11	Determinación de energía en el tiempo de 72 horas de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio	31
Tabla 12	Determinación de energía en el tiempo de 96 horas de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio	32
Tabla 13	Análisis proximal de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio antes y después del proceso de ensilaje.....	32
Tabla 14	Parámetros de degradabilidad de palmiste y palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%.....	33

Tabla 15 Valor energético del palmiste a las 48, 72 y 96 horas de incubación <i>in situ</i> reportado en el presente estudio VS los autores Alimon, 2004, Wong & Wang, 1997, y Wan Zahari, et al. 2003	34
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Lugar de investigación	13
Figura 2	Digestibilidad <i>in situ</i> de materia seca (DIMS), palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%	24
Figura 3	Digestibilidad <i>in situ</i> de materia orgánica (DIMO), palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%	25
Figura 4	Digestibilidad <i>in situ</i> de proteína (DIP), palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido al 5%	27
Figura 5	Digestibilidad <i>in situ</i> de grasa (DIG), palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido al 5%	28
Figura 6	Digestibilidad <i>in situ</i> de fibra (DIF), palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido al 5%	29
Figura 7	Digestibilidad <i>in situ</i> de extracto libre de nitrógeno (DIELN), palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido al 5%	30
Figura 8	Variación de la energía neta de lactancia a diferentes porcentajes de digestibilidad <i>in situ</i> de fibra (DIF) de palmiste.....	35
Figura 9	Margen de ganancia para diferentes % de digestibilidad <i>in situ</i> de fibra, palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%	36
Figura 10	Interfas de equipo NIRs para digestibilidad de palmiste	37
Figura 11	Curva de calibración del equipo NIRs, para los parámetros de digestibilidad de palmiste	37

RESUMEN

La torta de palmiste posee una digestibilidad baja, por lo cual se evaluó el efecto de la adición de hidróxido de calcio en el valor nutricional de la torta de palmiste, se determinó la digestibilidad *in situ* de la materia seca (DIMS), materia orgánica (DIMO), proteína (DIP), grasa (DIG), fibra (DIF) y extracto libre de nitrógeno (DIELN). El hidróxido de calcio se aplicó a una concentración del 5% con una humedad del 50% durante 30 días, se determinó la humedad, ceniza, proteína, grasa, fibra y ELN. La evaluación *in situ* se realizó en dos vacas fistuladas en el rumen con tiempos de incubación 0, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 72 y 96 h. Los datos se ajustaron al modelo de Orskov & McDonald (1981) para determinar las fracciones de digestibilidad *in situ* (fracción no degradable, degradación potencial y degradabilidad efectiva). El tratamiento de hidróxido de calcio presentó diferencias significativas $P < 0,04$ en todos los tiempos de incubación para DIF. Las fracciones de digestibilidad *in situ* no se vieron afectadas por el tratamiento de hidróxido de calcio de MS, MO, proteína y fibra ($P \geq 0.16$), la degradabilidad efectiva para MS, MO, proteína y fibra fue de 23.53, 23.98, 33.94 y 32.68% respectivamente. Se calculó el TDN, ED, EM, ENL y ENM no se obtuvieron diferencias significativas ($P > 0,05$) para estos parámetros, sin embargo la ENL incrementó en un 2.5 % a las 48 h.

PALABRAS CLAVE

- **DIGESTIBILIDAD**
- **HIDRÓXIDO DE CALCIO**
- **RUMIANTE**
- **TORTA DE PALMISTE**
- **VALOR NUTRICIONAL**

ABSTRACT

Palm kernel cake has a low digestibility, so the effect of the addition of calcium hydroxide on the nutritional value of the palm kernel cake was evaluated, the in situ digestibility of the dry matter (DIMS), organic matter was determined (DIMO), protein (DIP), fat (DIG), fiber (DIF) and nitrogen-free extract (DIELN). Calcium hydroxide was applied at a concentration of 5% with a humidity of 50% for 30 days, moisture, ash, protein, fat, fiber and ELN were determined. The in situ evaluation was done in two cows in the rumen with incubation times 0, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 72 and 96 h. Treatment of calcium hydroxide presented significant differences $P < 0.04$ at all incubation times for DIF. The data were adjusted to the model of Orskov & McDonald (1981) to determine the in situ digestibility fractions (non-degradable fraction, potential degradation and effective degradability), were not affected by the calcium hydroxide treatment of MS, MO, protein and fiber ($P \geq 0.16$), the effective degradability for MS, MO, protein and fiber was 23.53, 23.98, 33.94 and 32.68% respectively. The TDN, ED, EM, ENL and ENM were calculated, no significant differences were obtained ($P > 0.05$) for these parameters, however the ENL increased 0.04 Mcal / Kg at 48 h.

KEY WORDS

- **DIGESTIBILITY**
- **NUTRICIONAL VALUE**
- **PALM KERNEL CAKE**
- **CALCIUM HIDROXYDE**
- **RUMIANT**

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El Ecuador se encuentra en el segundo lugar de producción de aceite de palma a nivel regional, teniendo el primer puesto Colombia (Proecuador, 2014) la extensión del cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis*) en el país es de 319602 hectáreas plantadas (INEC, 2016).

La torta de palmiste es un subproducto que se obtiene de la cadena de valor agroindustrial a la cual es sometida la almendra de la palma africana para la obtención de aceite crudo de palma que es el producto industrial primario y el aceite refinado de palma (Delgado, 2007).

La producción de palma africana en el año 2014 fue de 3468510 TM , para el año 2015 fue de 4175659 TM y en el 2016 fue de 3124069 TM (INEC, 2016), para el 2015 la disponibilidad de torta de palmiste en la elaboración de alimentos preparados para animales fue de 76140 TM (INEC, 2015).

La torta de palmiste se ha convertido en una alternativa para su utilización en dietas animales, pese a esto presenta un alto contenido de fibra y un bajo valor proteico (Alava Hidalgo & Rodriguez, 2006), posee valores de 31% de fibra y 14 % en proteína, siendo un ingrediente de características nutricionales intermedias (Cuenca González, 2015), por lo cual es necesario explorar posibles metodologías con el fin de incrementar su valor nutricional.

El hidróxido de calcio a una concentración del 5% puede utilizarse como tratamiento químico que actúa como agente hidrolizante de la pared celular, aumentando la disponibilidad de carbohidratos estructurales para su utilización a nivel ruminal (Wolfgang Stehr, 2012), este tipo de tratamientos han sido utilizados con anterioridad en pastos, subproductos de destilería y subproductos de cosechas, pero no existe literatura que indique su utilización en fuentes de fibra no forrajera como es la torta de palmiste.

La nutrición es un componente dentro de la producción bovina que si se atiende o maneja, afecta la producción animal, esto obliga al ganadero a mejorar los sistemas de producción y utilizar técnicas para la alimentación del ganado usando recursos que se encuentren disponibles para complementar a los pastos (MIDA, 2015).

Los rumiantes tienen la capacidad de convertir los residuos de alimentos y los cultivos con alto contenido de celulosa en productos de fibra y alimentos útiles (FAO, 2015). Al integrar la agricultura y la ganadería de forma eficaz se podría aprovechar sinergias que van a afectar la producción y eficiencia agroecológica.

1.1 Justificación

La utilización de productos residuales de las explotaciones agrícolas, se ha convertido en una alternativa para la alimentación bovina que se ha ido incrementando en los últimos años, esto se debe a la presión que existe por disminuir los costos de alimentación, además de utilizar los recursos de una manera más eficiente (DiLorenzo, y otros, 2015).

La torta de palmiste es un sub producto de la extracción física por el método expeller del aceite de palmiste, que se obtiene de las almendras del fruto de palma de aceite (*Elaeis guineensis*), la torta de palmiste se ha utilizado como suplemento alimenticio en dietas para ganado vacuno (INDUPALMA, 2012).

Sin embargo las características del endocarpio de las semillas de palma africana de las cuales se extrae el palmiste indican que su nivel de componentes indigeribles (celulosa, lignina y silica) es muy elevado, inclusive para rumiantes (Jackson & Zumbado , 1996). Por este motivo es importante buscar métodos como la utilización de hidróxido de calcio, para mejorar la digestibilidad de la fibra y por lo tanto el valor energético del palmiste.

El hidróxido de calcio es un álcali que se utiliza como tratamiento para mejorar la digestibilidad de fuentes de fibra como las mazorcas de maíz, paja de trigo y además es un tratamiento rentable (L. Shreck, 2015).

Sin embargo existe poca información de la utilización de este método químico para incrementar el valor energético de fuentes de fibra no forrajera como son los subproductos agroindustriales. Se anticipa que este tipo de tratamientos pueda promover el uso racional de los recursos, y tiene un potencial de reducción en los costos de producción lo cual se traduce en un mayor beneficio económico para el productor (SEGARPA, 2014).

1.2 El Problema

El palmiste es una fuente de fibra de mediana calidad con un promedio de digestibilidad ruminal para la proteína cruda (PC) del 16.6%, fibra detergente neutra (FDN) del 39.82%, fibra detergente acida (FDA) del 23.96% y materia seca (MS) del 42.35%. Por lo cual es necesario aumentar su valor nutricional, aplicando alternativas que permitan mejorar su digestibilidad (Cuenca González, 2015).

1.2.1 Los Efectos

La torta de palmiste pese a que es una alternativa para la alimentación animal, tiene límites máximos de inclusión por su baja digestibilidad en un rango entre el 10 al 30% de inclusión.

1.2.2 Las Causas

No se han realizado estudios del efecto del hidróxido de calcio en fuentes de fibra no forrajeras como es el caso del palmiste, además las empresas dedicadas a la extracción de la torta de palmiste no realizan un tratamiento previo para aprovechar de una manera más eficaz su contenido nutricional y que esta sea más atractiva para su utilización en dietas de bovinos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la inclusión del hidróxido de calcio al 5% en el palmiste en la composición nutricional y digestibilidad *in situ* de la torta de palmiste, mediante técnica de valoración nutricional en rumiantes.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el efecto de la inclusión de hidróxido de calcio al 5% en el valor nutricional de la torta de palmiste mediante análisis proximal.
- Evaluar la digestibilidad de nutrientes presentes en la torta de palmiste previamente tratada con hidróxido de calcio al 5% mediante la técnica de incubación *in situ* en el rumen de vacas lecheras.
- Evaluar el efecto del hidróxido de calcio al 5% en la digestibilidad *in situ* y valor nutricional de nutrientes presentes en la torta de palmiste mediante el método de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRs).
- Recomendar tecnologías para una adecuada utilización de la torta de palmiste en dietas para rumiantes y divulgación de resultados mediante la elaboración de un boletín técnico donde se indique los efectos de la utilización del hidróxido de calcio al 5%.

1.4 Hipótesis

H₀: La composición nutricional y la digestibilidad de la torta de palmiste no se alteran con la aplicación de hidróxido de Calcio con un nivel de inclusión del 5%.

H₁: La composición nutricional y la digestibilidad de la torta de palmiste se alteran con la aplicación de hidróxido de Calcio con un nivel de inclusión del 5%.

CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Torta de palmiste

El cultivo de palma africana tiene una participación en la superficie plantada total en el Ecuador del 21,38 %, con 263839 hectáreas cosechadas, la mayor producción se concentra en la provincia de Esmeraldas con un 50.73 % del total (INEC, 2016).

El fruto de la palma africana pasa por un proceso de esterilización y digestión que consiste en eliminar los raquis y macerar la fruta, posterior a esto pasa a la etapa de prensado y clarificación en el cual se obtiene el licor de la fruta que es sometido a procesos de decantación y centrifugación para recuperar aceite. La nuez se separa de la porción fibrosa y finalmente la almendra pasa a un nuevo proceso de extracción para obtener aceite y finalmente torta de palmiste (Proecuador, 2014).

Del peso total del racimo listo para el procesamiento, alrededor del 1.8% al 2.5 % representa la torta de palmiste (Vargas & Zumbado, 2003).

2.2 Valor nutritivo de la torta de palmiste

La torta de palmiste es un ingrediente de mediana calidad siendo fuente de fibra con un 31.33%, de proteína 14.80% y grasa 8.9%, la degradabilidad efectiva a nivel ruminal para FDN es de 39.82%, para FDA 23.96%, para materia seca es del 42.35% y para proteína cruda 16.10% (Cuenca González, 2015). La torta de palmiste es un ingrediente adecuado para su utilización en dietas de rumiantes en donde se puede utilizar en niveles de inclusión hasta en un 10% en rumiantes lecheros (FEDNA, 2015).

2.3 Hidróxido de calcio Ca (OH)₂

El hidróxido de calcio es un álcali que se utiliza para romper los enlaces que unen celulosa y hemicelulosa a la lignina, mejorando su degradabilidad en el rumen (Perozo, 2013). Este tratamiento ensancha la celulosa lo que facilita la acción de las

enzimas en el rumen, además hidroliza los enlaces entre la lignina y hemicelulosa (Walker, 2013).

La dosis con la que se han obtenido mejores resultados es del 5% en base a materia seca y es importante hidratar la muestra al 50%, para una acción efectiva del tratamiento (L. Shreck, 2015). Además se ha demostrado que el hidróxido de calcio al 5% en base a materia seca mejora la degradación de fibra bajo condiciones ligeramente ácidas en estudios *in vitro*, mejorando en un 13% y 16% la digestibilidad de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) respectivamente (Haddad, Grant, & Klopfenstein, 2014).

2.4 Técnicas de valoración nutricional de ingredientes para rumiantes

Las técnicas de valoración nutricional en rumiantes constituyen una herramienta de gran importancia ya que permite evaluar determinado ingrediente que va a contribuir para satisfacer las necesidades nutricionales de los rumiantes.

Adicionalmente, permite valorar alternativas que potencien o limiten las cualidades nutricionales y los niveles de inclusión de determinado ingrediente (Tobal, 1999).

Entre las técnicas de valoración nutricional de ingredientes para rumiantes se encuentran la técnica de digestibilidad *in vivo*, *in vitro* e *in situ*.

2.4.1 Digestibilidad

2.4.1.1 Digestibilidad *in vivo*

Uno de los métodos más comunes para determinar la digestibilidad de alimentos en rumiantes es la técnica de digestibilidad *in vivo* (Villalobos, Gonzales, & Ortega, 2000), la técnica consiste en suministrar una cantidad determinada de alimento del cual se conoce el valor nutricional, por medio de diferencia entre los nutrientes ingeridos y los excretados se puede determinar la digestibilidad (McDonald, Edwards, Greenhalgh, & Morgan, 1999).

Esta técnica permite determinar la digestibilidad aparente a lo largo del tracto digestivo, sin embargo no puede determinar la porción degradada en el rumen y la

que fue degradada en el sistema digestivo posterior (Rosero & Ochoa, 2007). A pesar de ello la porción fibrosa de los alimentos se degradan principalmente en el rumen, por lo cual se puede determinar la degradabilidad de la fibra estudiándola únicamente en esta porción del tracto digestivo.

2.4.1.2 Digestibilidad *in vitro*

La técnica de digestibilidad *in vitro* consiste en incubar una muestra del alimento que se quiere evaluar en recipientes de vidrio bajo condiciones anaerobias, simulando el ambiente ruminal, para lo cual se agrega una solución tampón en conjunto con licor ruminal y otros componentes como micro elementos y ácido valérico, manteniendo los niveles de pH dentro de los límites para una adecuada digestión (Tilley & Terry, 1963).

Es necesaria la extracción del líquido ruminal mediante la utilización de animales canulados o con la ayuda de una bomba para la succión del líquido (Goering & Van Soest, 1970) (Abdelgadir, Cochran, Vanzant, & Titgemeyer, 1996).

2.4.1.3 Digestibilidad *in situ*

La técnica de digestibilidad *in situ*, consiste en colocar al interior del rumen de animales canulados, bolsas de poliéster con una cantidad determinada de sustrato por periodos de tiempo previamente determinados, esta técnica permite mantener constantes las condiciones ruminales y variar los sustratos a estudiar (Ruiz & Ruiz, 1990).

Este método permite estimar la tasa y la extensión de degradación de los alimentos para predecir su valor nutricional y tiene una gran aproximación a los resultados *in vivo* (Rosero & Ochoa, 2007). Además permite medir los efectos de diferentes factores ruminales sobre la tasa de digestibilidad de diferentes nutrientes en los distintos tiempos de permanencia en el rumen (Tobal, 1999).

A pesar de que la técnica brinda datos confiables acerca de la estimación de digestibilidad es necesario tener en cuenta algunos factores que pueden alterar los

resultados (Villalobos, Gonzales, & Ortega, 2000), a continuación se citan los factores que pueden afectar la técnica *in situ*:

a) Relación tamaño de bolsa y cantidad de muestra. Estos dos factores se encuentran relacionados con la degradabilidad del sustrato en estudio, existe una relación lineal negativa entre estos dos factores (Vanzant, Cochran, & Titgemeyer, 1998).

La cantidad del sustrato y el tamaño de la bolsa va a depender de los tiempos de incubación, tipo de muestra y cuantos análisis se van a realizar con el residuo, en términos generales la cantidad de muestra debe estar entre 10 a 20 mg/cm², en fundas de 10x20 cm dando un área de 200 cm² (Vanzant, Cochran, & Titgemeyer, 1998), para estudios con forraje se requiere 2 g, de heno 3 g, y de concentrados 5 g. (Villalobos, Gonzales, & Ortega, 2000).

b) Tamaño de poro de la funda. Un tamaño adecuado se encuentra entre 40 a 60 micras, esto depende del tamaño de partícula del sustrato a evaluar (Vanzant, Cochran, & Titgemeyer, 1998).

Poros más pequeños menores a 20 micras impedirían el paso de microorganismos del rumen como los protozoarios que tienen un tamaño mayor a 40 micras y no permiten un adecuado flujo por lo que la digestibilidad se ve limitada, tamaños mayores permiten el paso de partículas desde el interior de la bolsa hacia el exterior teniendo así pérdida del material (Lindberg, 1985).

c) Tamaño de partícula del sustrato. Es necesario uniformizar y reducir la variación que existe en el muestreo y en la valoración de digestibilidad para lo cual la muestra se somete a molienda (Villalobos, Gonzales, & Ortega, 2000), además es necesario representar las características que se observarían *in vivo* del tamaño de partícula mediante la rumia, el tamaño de partícula óptimo para concentrados y fuentes de fibra es de 1 a 2 mm (Vanzant, Cochran, & Titgemeyer, 1998) (Giraldo, Gutierrez, & Rúa, 2007).

d) Enjuague de bolsas. Antes de realizar la incubación ruminal se debe someter las bolsas a un proceso de remojo en el cual se introducen las bolsas en agua a 39 °C durante 20 minutos para que se encuentren a la misma temperatura del rumen (Ruiz & Ruiz, 1990). Posterior a la incubación se las enjuaga con el objetivo de detener la actividad microbiana y eliminar las partículas que se encuentran adheridas

(Villalobos, Gonzales, & Ortega, 2000). El tiempo estimado para el lavado de las bolsas después de la incubación es de 5 minutos, y se realiza hasta que las fundas quedan claras (Kemp T, 1980), un enjuague excesivo puede dar como resultado una pérdida adicional de partículas (Vanzant, Cochran, & Titgemeyer, 1998).

d) Efecto de la dieta. Por varios factores dietéticos que pueden afectar a la degradación *in situ* es ideal que los animales que van a ser sometidos a la técnica se encuentren consumiendo la dieta de interés (Vanzant, Cochran, & Titgemeyer, 1998), es necesario otorgar un tiempo de adaptación a los animales para tener las mismas condiciones ruminales en cada animal este tiempo se estima que es de 10 días (Cochran, Adams, Wallace, & Galyean, 1986).

2.4.2 Técnicas de valoración de compuestos nutricionales

2.4.2.1 Análisis proximal

La determinación del análisis proximal se realiza con el objetivo de determinar el valor nutricional del sustrato en estudio, este consta de humedad, proteína, fibra, grasa, materia seca, ceniza y extracto libre de nitrógeno.

La determinación del contenido de proteína se realiza mediante el método Kjeldahl la ecuación es la siguiente:

$$\%P = (1.40) (N)(V)(F) / m$$

Donde P es el contenido de proteínas en porcentaje de masa, N es la normalidad del ácido sulfúrico, V es el volumen gastado de ácido sulfúrico en la titulación, m es la masa de la muestra y F es el factor que para este caso es de 6,25 (Official Methods of Analysis, 1984) (INEN 519, 1980).

Para la determinación del contenido de grasa se extrae la misma con éter de petróleo o éter etílico, se evapora el solvente y se determina el contenido de grasa en base a la masa del residuo (Official Methods of Analysis, 1990) (INEN 174, 1986). A continuación se detalla la fórmula a utilizar

$$\text{Grasa} = ((m_1 - m_0) / m_2) * 100$$

Donde m_0 es la masa del matraz vacío en g, m_1 es la masa del matraz con el residuo en g y m_2 es la masa de la muestra en g.

Para la determinación de fibra cruda se digiere la muestra sin grasa con solución de ácido sulfúrico, se lava y nuevamente se digiere con solución de hidróxido de sodio, se lava, seca y pesa. Se calcina hasta destruir la materia orgánica. La pérdida de peso después de la calcinación es el contenido de fibra cruda (INEN 522, 1980), la fórmula se describe a continuación.

$$F_c = (((m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)) / m) * 100$$

Donde F_c es el contenido de fibra cruda en porcentaje de masa, m es la masa de la muestra desengrasada y seca en g, m_1 es la masa del crisol conteniendo asbestos y la fibra seca en g, m_2 es la masa del crisol conteniendo asbesto después de ser incinerado en g, m_3 es la masa del crisol del ensayo en blanco conteniendo asbestos en g y m_4 es la masa del crisol del ensayo en blanco conteniendo asbesto después de ser incinerado en g.

Para la determinación de humedad se pesa 3 g de muestra, se coloca al horno a 105 °C por un mínimo de 12 h, se deja enfriar en un desecador y se pesa nuevamente (FAO, 2016) (Official Methods of Analysis, 1990), el cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = 100 * (((B - A) - (C - A)) / (B - A))$$

Donde A es el peso de la charolilla seca y limpia en g, B es el peso de la charolilla más la muestra húmeda en g, y C es el peso de la charolilla más la muestra seca en g.

El proceso para la determinación de cenizas consiste en incinerar la muestra a 550 ± 15°C y pesar el residuo que corresponde a las cenizas de la muestra (INEN 520, 1980) (Official Methods of Analysis, 1990), la fórmula se describe a continuación.

$$C = (100 * (m_3 - m_1)) / ((100 - H) * (m_2 - m_1))$$

Donde C es el contenido de cenizas en harinas de origen vegetal en porcentaje de masa, m_1 es la masa del crisol vacío en gramos, m_2 es la masa del crisol con la muestra en g, m_3 es la masa del crisol con las cenizas en gramos y H es el porcentaje de humedad en la muestra.

Para la determinación del contenido de extracto libre de nitrógeno (ELN) el cálculo es el siguiente (FAO, 2016)

$$\text{ELN (\%)} = 100 - (A + B + C + D + E)$$

Donde A es el contenido de humedad, B es el contenido de proteína cruda, C son los lípidos crudos, D es el contenido de fibra cruda y E es el contenido de ceniza, todo en porcentaje.

2.4.2.2 Método de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRs)

El espectrómetro provee un método no destructivo de análisis de muestras, su operación se basa en emitir un espectro de luz que va de los 900 a 2500 nm, esto provoca vibraciones en las moléculas de la muestra (UNITY SCIENTFIC, 2010).

Producto de la vibración de las moléculas se producen bandas de absorción, estas bandas corresponden a “ecos” o “rebotes”, y se generaran curvas complejas de bandas y picos que la computadora los relaciona con componentes químicos presentes en la muestra (Alomar & Fchslocher, 1998).

El método NIR y los métodos primarios se relacionan para obtener una curva de calibración, esta relación se genera mediante correlaciones y regresiones estadísticas, esta curva de calibración es utilizada para predecir los valores del método primario de nuevas muestras. Consecuentemente este no es un método directo (UNITY SCIENTFIC, 2010).

Es un método rápido, preciso y confiable, el tamaño de la muestra es pequeño, el tiempo para evaluar cada muestra es menor y por lo tanto se puede evaluar un mayor número de muestras (Tobal, 1999).

El sistema NIR toma espectros y el software de calibración es el que realiza el modelo de predicción, por lo tanto el modelo va a depender de la información espectral que se coloque mientras esta sea mayor se obtendrá un mejor modelo, además la calidad de los datos de química húmeda también influirán en la calidad del modelo (Morgado, 2015)

Para la elaboración de un modelo matemático es necesario realizar una curva de calibración, en este caso Cuenca en el 2015 realizo la calibración del equipo para torta de palmiste.

Para construir la curva de calibración es necesario obtener muestras representativas que se utilicen en los análisis de rutina es decir si se va a analizar un

sustrato granulado no se podrá realizar una calibración con muestras molidas. (Morgado, 2015)

Para la elaboración del modelo matemático es necesario incluir la mayor cantidad de muestras representativas, en términos generales se habla de un mínimo de 30 muestras para la calibración del equipo, una ventaja del equipo es que puede aumentar el número de muestras en el tiempo (Morgado, 2015)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Ubicación del lugar de investigación

El presente estudio se realizó en las instalaciones del Laboratorio de suelos y área de ganadería, Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, Hacienda El Prado, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, ubicado políticamente en la parroquia Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha y localizado geográficamente a una longitud de $78^{\circ}24'44''\text{O}$ y una latitud de $0^{\circ}23'20''\text{S}$.



Figura 1 Lugar de investigación

Fuente: (Google Maps)

3.1.1 Ubicación ecológica

La Hacienda El Prado se encuentra en la zona de vida Bosque Húmedo Montano, a una altitud de 2748 msnm, tiene una temperatura promedio anual de $13,89^{\circ}\text{C}$, una precipitación de 1285 mm/año, y humedad relativa promedio de 69.03%.

3.2 Materiales

3.2.1 Fase de preparación del sustrato

Para la aplicación del tratamiento se utilizó 3 Kg de palmiste de la empresa AEXAV LTDA, 155 gramos de hidróxido de calcio y 1335 ml de agua destilada.

Para la elaboración del ensilaje se usó una balanza analítica (Mettler Toledo), y una máquina de empaque al vacío (EV-260P).

3.2.2 Fase de adaptación de animales

Se utilizó dos hembras bovinas raza Holstein-Montbeliarde (F1) de 5 años de edad, para la adaptación de los animales se utilizó dos corrales de 4 x 3 metros, con bebederos y comederos individuales, el alimento a suministrar fue henolaje de raygrass (5 fardos) y agua *ad libidum*.

3.2.3 Fase de digestibilidad *in situ*

Se utilizó 24 m² de tela polyester y una selladora térmica (PFS-400 Century) con la cual se elaboró 560 fundas de 10x20 cm.

En el proceso de incubación *in situ* se utilizó dos vacas canuladas, 10 fundas de malla de tela con cremallera medianas, dos cadenas de 2 metros de largo cada una, guantes quirúrgicos, guantes ginecológicos para la manipulación de muestras y bolsas ziploc (560).

3.2.4 Fase de análisis proximal

Los análisis mediante el método de espectroscopia de infrarrojo cercano NIRs se realizó con un equipo SpectroStar una balanza analítica (Mettler Toledo) y una estufa (Shellab).

3.3 Métodos

3.3.1 Tratamiento con hidróxido de calcio

Se preparó 3 Kg de torta de palmiste tratada con un 50% de humedad y con el 5 % de hidróxido de calcio (L. Shreck, 2015), para lo cual se mezcló 1665 g de torta de palmiste en base húmeda con 1335 ml de agua destilada y 155 g de hidróxido de calcio, una vez homogeneizada la mezcla se colocó en fundas de ensilado, se extrajo todo el aire que contenía la funda y se selló térmicamente simulando a un silo.

Transcurridos 30 días de exposición del hidróxido de calcio al sustrato a temperatura de laboratorio se procedió a secar la muestra en estufa a 60 °C por 48 horas (Haddad, Grant, & Klopfenstein, 2014). Cinco gramos de muestra por cada tratamiento fue pesada y se asignó aleatoriamente a cada una de las bolsas que se utilizó en la incubación *in situ* (Wong & Wan Zahari, 1997).

Las bolsas fueron de polyester, el tamaño fue de diez cm de ancho y 20 cm de largo, con un tamaño de poro de 50 μm (Ruiz & Ruiz, 1990), los lados se sellaron con una selladora térmica. Se las identificó y luego se secaron en una estufa a 55 °C por dos horas para posteriormente pesarlas. Para el experimento se elaboraron 560 fundas. Una vez que el sustrato fue colocado en el interior de las fundas, estas fueron selladas bajo el mismo proceso.

3.3.2 Análisis de la composición nutricional de la torta de palmiste mediante el análisis proximal

Análisis proximales fueron realizados en cada tratamiento antes y después de culminar el proceso de exposición del sustrato al álcali.

El análisis proximal fue realizado por triplicados, utilizando el equipo NIRs y se determinó el contenido de proteína, humedad, fibra, grasa, ceniza y extracto libre de nitrógeno.

3.3.3 Evaluación de la digestibilidad de nutrientes mediante la técnica de incubación *in situ* en el rumen de vacas lecheras

Todos los procesos relacionados con el cuidado y uso de los animales siguieron la guía establecida por el comité de “Cuidado de los animales y el uso de los animales de agricultura en la investigación y la enseñanza” (FASS, 2010).

3.3.3.1 Manejo de animales

Para el presente experimento se utilizó dos vacas fistuladas con una condición corporal de 3, el animal con código 1110 al momento del experimento tuvo un peso de 700 Kg mientras que el animal 1105 peso 780 Kg.

Antes de realizar la incubación *in situ* los animales fueron sometidos a un periodo de adaptación durante 10 días (Cochran, Adams, Wallace, & Galyean, 1986). La dieta consistió en henolaje de raygrass y sal mineral (ganasal). Los animales recibieron 17.5 kg en MS (2.4% PV) por día de henolaje y 83 g de sal mineral. Adicionalmente, los animales tuvieron acceso *ad libitum*, al agua durante todo el experimento. Para determinar la cantidad de alimento a suministrar a los animales se realizó en base a la energía de mantenimiento para cada animal y le suministramos 2X el requerimiento Energético de Mantenimiento.

Se determinó la cantidad de alimento a suministrar mediante la siguiente fórmula

$$CA = ((PV^{0,75}) * 0,08 / E) * 2$$

Donde CA es la cantidad de alimento a suministrar en MS, PV es el peso vivo del animal y E es la concentración de energía metabolizable del alimento en Mcal/kg. Se asumió que la concentración de energía neta de mantenimiento fue de 1,3 Mcal/Kg.

Después del periodo de adaptación de 10 días, inició el primer periodo de experimentación que fue de 4 días, después tuvieron 3 días de descanso, inmediatamente después inicio el segundo periodo de experimentación.

3.3.3.2 Digestibilidad *in situ*

Se utilizó bolsas de polyester de 10x20 cm y con una porosidad de 50 µm, fueron introducidas en el rumen, donde se mantuvieron por los siguientes tiempos de

incubación: 0, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72 y 96 horas. Por cada tiempo de incubación se colocó en una malla sujeta a una cadena y en el interior de esta se colocaran las fundas de tela.

Se utilizaron 4 bolsas por cada tiempo de incubación y por cada sustrato hasta las 12 horas, a partir de las 18 horas se colocaron 8 bolsas por cada tiempo de incubación y por cada sustrato, el motivo de la variación de bolsas es por la cantidad de muestra que se necesita para los análisis ya que a mayor tiempo de incubación más se reduce la cantidad de muestra inicial. Se utilizaron 2 fundas vacías por cada tiempo (blancos), las fundas vacías son fundas sin sustrato al interior, que sirven para evaluar si existe alguna pérdida de peso relacionada con la funda.

Las bolsas se sumergieron en agua a 39 °C durante 20 minutos para que se encuentren a la misma temperatura del rumen, posteriormente se introdujeron en la región ventral del rumen permitiendo cierta libertad de movimiento para que estén expuestas a diferentes condiciones del rumen (Ruiz & Ruiz, 1990).

Una vez concluido cada tiempo de incubación las bolsas fueron extraídas del rumen, y se enjuagaron en agua fría a 12 °C, posteriormente se secaron en una estufa a 55°C por 48 horas. Este experimento se replicó nuevamente después de tres días en los cuales los animales se encontraron en confinamiento (Hackmann, Sampson, & Spain, 2008). Finalmente se realizaron los análisis proximales mediante el Método de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRs) para determinar la digestibilidad de Materia Seca, Materia Orgánica, Fibra y Proteína.

Para calcular el porcentaje de digestibilidad *in situ* se utilizó la siguiente fórmula

$$\% \text{ Degradabilidad Nutriente} = ((\text{CIN} - \text{RDIN}) / \text{CIN}) * 100$$

Donde CIN es la cantidad inicial del nutriente y RDIN es el residuo después de la incubación del nutriente (Vera & Aragundi, 2014).

3.3.4 Diseño experimental

3.3.4.1 Factores

Tratamiento o no de la torta de palmiste con hidróxido de calcio

3.3.4.2 Tratamientos a comparar

Se evaluó 2 tratamientos.

T1: Torta de palmiste

T2: Torta de palmiste tratada con hidróxido de calcio.

Tabla 1
Número de muestras por tratamiento

Tratamiento	Muestras
Palmiste	240
Palmiste + hidróxido de calcio	240

3.3.4.3 Tipo de diseño

El tipo de diseño experimental fue un de bloques completamente al azar. Las curvas de degradación de la incubación *in situ* se analizaron con el modelo de regresión no lineal descrito por Orskov y McDonald en 1981, utilizando el procedimiento NLIN de SAS 9,0. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el procedimiento mixto de SAS para un diseño de bloques completamente al azar.

3.3.4.4 Repeticiones

En el experimento los bloques son los dos periodos de tiempo y las repeticiones serán los dos animales canulados.

3.3.4.5 Características de las Unidades Experimentales

La unidad experimental fue el residuo de cuatro fundas hasta la hora 12 y a partir de la hora 18 el residuo de 8 fundas. Cada funda fue de polyester de 10 x 20cm que contenían cinco gramos de muestra, en total se obtuvieron 80 unidades experimentales.

Las unidades experimentales fueron distribuidas de manera aleatoria.

3.3.4.6 Croquis del diseño

El croquis del diseño es el siguiente:

Tabla 2
Disposición del experimento en campo

Periodo de experimentación (bloque)	Animal			
	1		2	
Primero	T1	T2	T1	T2
Segundo	T1	T2	T1	T2

3.3.5 Variables del estudio

Las variables de la investigación se midieron de acuerdo a los objetivos planteados en el estudio y se determinaron de la siguiente manera:

3.3.5.1 Análisis proximal antes y después de la aplicación del tratamiento con hidróxido de calcio del palmiste

Se realizaron dos análisis proximales por cada tratamiento antes y después del proceso de ensilaje se obtuvieron tres sub muestras por análisis. Transcurridos 30 días de ensilaje se procedió a secar la muestra a 55 °C durante 24 horas.

La determinación del contenido de proteína, humedad, fibra, grasa, ceniza y extracto libre de nitrógeno se realizó mediante el método de espectroscopia de infrarrojo cercano NIRs.

3.3.5.2 Análisis proximal y digestibilidad de: proteína cruda, fibra cruda, grasa, ceniza, extracto libre de nitrógeno a diferentes tiempos de incubación *in situ* (0,3,6,9,12,18,24,48,72,96 horas) mediante la utilización del método NIRs

Para la incubación *in situ* se humedeció las fundas de tela con la muestra en agua a 39 °C durante 20 min. Las fundas se colocaron en una malla por cada tiempo de incubación y estas a su vez fueron enganchadas a una argolla que estará sujeta a una cadena.

Se extrajo una pequeña cantidad de alimento del rumen, y se introdujo la cadena con las mallas. Se extrajo una malla por tiempo 0, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72 y 96 horas. Una vez finalizado cada tiempo de incubación se recuperó la malla con las fundas de tela en su interior y se procedió a enjuagarlas 4 veces en agua destilada, se las secaron en la estufa a 55 °C durante 48 horas, posteriormente se colocaron en un desecador y se las peso en una balanza analítica.

Se colocó una copa en blanco y se realizó una curva de calibración en el equipo NIRs, posteriormente se seleccionó la curva de palmiste. Se ubicó la copa con la muestra en su interior en la cámara del equipo NIRs, se ejecutó la corrida de la muestra en un tiempo aproximado de 30 segundos se recopilaron los datos de la incubación in situ a los diferentes tiempos y se procedió a realizar los cálculos pertinentes de degradabilidad, y degradabilidad efectiva.

$$\text{Humedad (\%)} = (\text{peso inicial} - \text{peso tras secado en estufa} / \text{peso inicial}) * 100$$

3.3.5.3 Degradación y degradabilidad efectiva, mediante regresión no lineal de cada nutriente con ecuaciones descritas por Orskov y McDonald (1981)

El cálculo para la degradación ruminal y degradabilidad efectiva se describen a continuación.

$$DRb_t = a + b (1 - \exp^{-kd*t})$$

Donde $[[DRb]]_t$ es la degradabilidad ruminal de la fracción b en el tiempo t, a es la fracción soluble completamente degradable en el rumen, b es la fracción potencialmente degradable en el rumen, kd es una constante y t es el tiempo.

$$DE = a + ((b * c / (c + k))$$

Donde DE es la degradabilidad efectiva a, b y c fueron previamente definidos en la ecuación anterior y k es el flujo de las partículas del rumen.

3.3.5.4 Cálculo de Energía mediante el sistema desarrollado por la Universidad de California (2001)

Las ecuaciones para la predicción de energía se describen a continuación y se encuentran en base seca.

Energía metabolizable (EM), Mcal/Kg:

$$EM = 0.82 * ED$$

Donde ED es Energía digestible

Energía neta de mantenimiento (ENM), Mcal/Kg:

$$ENM = (1.37 * EM) - (0.138 * EM * EM) + (0.0105 * EM * EM * EM) - 1.12$$

Energía neta de ganancia de peso (ENG), Mcal/Kg:

$$ENG = (1.42 * EM) - (0.147 * EM * EM) + (0.0122 * EM * EM * EM) - 1.65$$

Nutrientes digestibles totales (TDN), porcentaje:

$$TDN = 100 * (ED / 4.4)$$

Energía neta de lactancia (ENL), Mcal/Kg:

$$ENL = 0.0245 * TDN - 0.12$$

$$\% \text{ TDN} = (PB * cd + G * cd * 2.25 + ELN * cd + F * cd) / 100$$

Donde PB es proteína bruta, G es grasa, ELN es extracto libre de nitrógeno, F es fibra y cd es el coeficiente de digestibilidad de cada nutriente.

3.3.6 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), y se utilizó la prueba t de Student con un grado de error del 5% mediante el programa SAS 9.0.

3.3.6.1 Esquema de análisis de varianza

El esquema que se aplica en el presente diseño es el siguiente:

Tabla 3
Análisis de varianza para el diseño experimental del estudio

Fuentes de variación	Grados de libertad	
Tratamientos	t-1	1
Período	b-1	1
Error experimental	(b-1)(t-1)	1
Total	n-1	3

El modelo matemático para degradabilidad ruminal, es el siguiente:

$$DRb_t = a + b(1 - \exp^{-kd^*t})$$

Donde DRbt es la degradabilidad ruminal de la fracción b en el tiempo t, a es la fracción soluble completamente degradable en el rumen, b es la fracción potencialmente degradable en el rumen, kd es una constante y t es el tiempo (Orskov & McDonald, 1981)

3.3.6.2 Coeficiente de variación

Para respaldar la evaluación de los tratamientos y la credibilidad del ensayo, se utilizó la siguiente fórmula de coeficiente de variación:

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{\bar{X}} \times 100$$

Donde CV = Coeficiente de variación, CME = Cuadrado medio del error y \bar{X} = Media general del experimento. El coeficiente de variación a utilizar fue del 0,05%.

3.3.6.3 Análisis funcional

Se realizó el análisis de varianza y la prueba de significancia según la prueba t de Student a un nivel $\alpha=0,05$; con un 95% de confiabilidad.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Digestibilidad *in situ* de materia seca

La digestibilidad *in situ* de materia seca (MS) se encuentra descrita en la tabla 4 y figura 2. Se observaron diferencias significativas ($P < 0,04$) en las horas de incubación 6, 9, 12, 18 y 96 horas, con un incremento en la digestibilidad de MS para el palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%, del 31, 38, 30, 38 y 6 %, respectivamente. A las 24 y 48 horas se observa una tendencia ($P < 0,08$), con un incremento del 17 y 9 % respectivamente.

En los tiempos 3 y 72 no se observaron diferencias significativas, sin embargo existe una diferencia numérica, teniendo un incremento del 13, y 7 % respectivamente para el palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%.

Tabla 4
Digestibilidad *in situ* de materia seca (DIMS), en los tiempos 3, 6, 9, 12, 18, 24,48, 72 y 96 de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio

Item	Tratamiento ¹		ESM ²	Valor_P
	Palm	Palm trt		
DIMS, %				
3 h	23,78	26,80	2,70	0,46
6 h	23,72	31,14	2,00	0,04
9 h	26,22	36,12	1,35	<0,01
12 h	37,14	48,47	1,63	<0,01
18 h	34,66	47,88	3,27	0,03
24 h	47,94	55,92	2,60	0,07
48 h	64,01	69,49	1,86	0,08
72 h	66,14	70,57	1,99	0,17
96 h	69,24	73,37	1,02	0,03

¹ Palm =Palmiste, Palm trt =Palmiste tratado con hidróxido de calcio a una concentración del 5%

² Error estándar de la media, n = 4

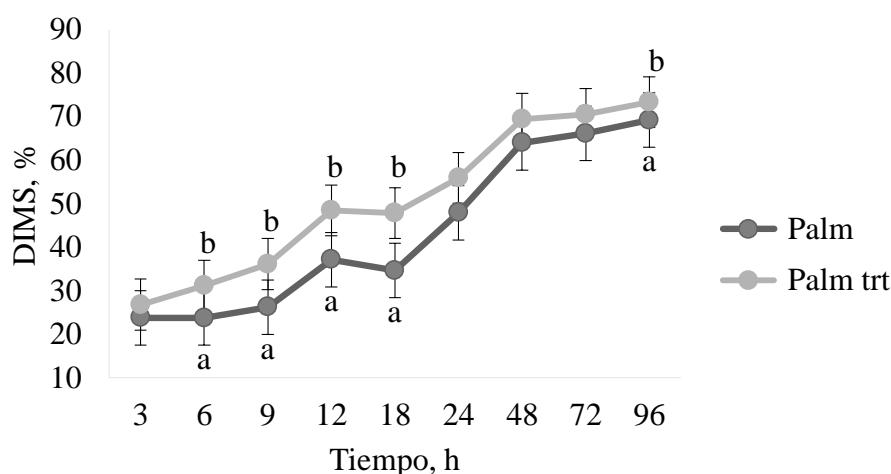


Figura 2 Digestibilidad *in situ* de materia seca (DIMS), palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%

Letras diferentes indican valores con diferencias significativas ($P < 0,04$)

4.1.2 Digestibilidad *in situ* de materia orgánica

La digestibilidad *in situ* de materia orgánica (MO) se encuentra descrita en la tabla 5 y figura 3. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0,02$) entre los tratamientos en los tiempos de incubación de 9 y 12 horas de incubación, el tratamiento con hidróxido de calcio al 5% presentó una digestibilidad mayor que el palmiste sin adición del álcali con un incremento de 37 y 25% respectivamente. El tiempo de 96 horas presenta una tendencia ($P = 0,06$) con un incremento para el palmiste tratado de un 5%.

Pese a que en los tiempos de 3, 6, 18, 24, 48 y 72 horas no se obtuvieron diferencias significativas se presentó un incremento numérico en la digestibilidad de MO para el tratamiento con adición de hidróxido de calcio con un 14, 27, 24, 14, 7 y 5 % respectivamente.

Tabla 5
Digestibilidad *in situ* de materia orgánica (DIMO) en los
tiempos 3, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72, 96 de palmiste y palmiste
tratado con Hidróxido de Calcio

Item	Tratamiento ¹		ESM ²	Valor_P
	Palm	Palm trt		
DIMO, %				
3 h	24,26	27,54	3,01	0,47
6 h	24,60	31,23	2,54	0,11
9 h	27,08	37,05	2,29	0,02
12 h	37,86	47,41	1,82	0,01
18 h	37,71	46,75	3,48	0,12
24 h	48,33	54,96	2,75	0,14
48 h	64,59	69,12	1,96	0,16
72 h	66,57	70,06	2,04	0,27
96 h	69,68	72,84	1,08	0,06

¹ Palm =Palmiste, Palm trt =Palmiste tratado con hidróxido de calcio a una concentración del 5%

² Error estándar de la media, n = 4

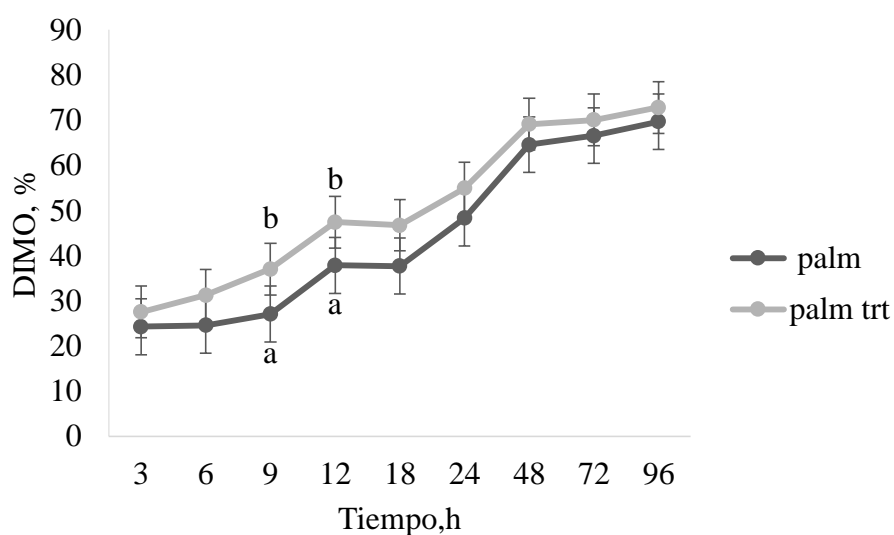


Figura 3 Digestibilidad *in situ* de materia orgánica (DIMO),
palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido de
calcio al 5%

Letras diferentes indican valores con diferencias significativas ($P < 0,02$)

4.1.3 Digestibilidad *in situ* de proteína

La digestibilidad *in situ* de proteína se encuentra descrita en la tabla 6 y figura 4. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0,02$) para los tiempos de incubación 9, 12 y 96 horas, teniendo un incremento del 10, 8 y 2% respectivamente. En los tiempos de incubación 3, 6, 18, 24, 48 y 72 horas no se encontraron diferencias significativas pero si diferencia numérica que oscila entre el 1 y 8%.

Tabla 6 Digestibilidad *in situ* de proteína (DIP) en los Tiempos 3, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72 y 96 de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio

Item	Tratamiento ¹		ESM ²	Valor_P
	Palm	Palm trt		
DIP, %				
3 h	61,00	64,42	2,34	0,34
6 h	61,56	66,92	2,19	0,13
9 h	64,64	71,28	1,35	0,01
12 h	72,99	78,62	1,21	0,02
18 h	72,16	77,75	2,39	0,16
24 h	78,89	82,18	1,92	0,28
48 h	88,44	90,24	1,05	0,17
72 h	89,18	91,13	0,86	0,16
96 h	90,54	92,16	0,63	0,01

¹ Palm =Palmiste, Palm trt =Palmiste tratado con hidróxido de calcio a una concentración del 5%

² Error estándar de la media, n = 4

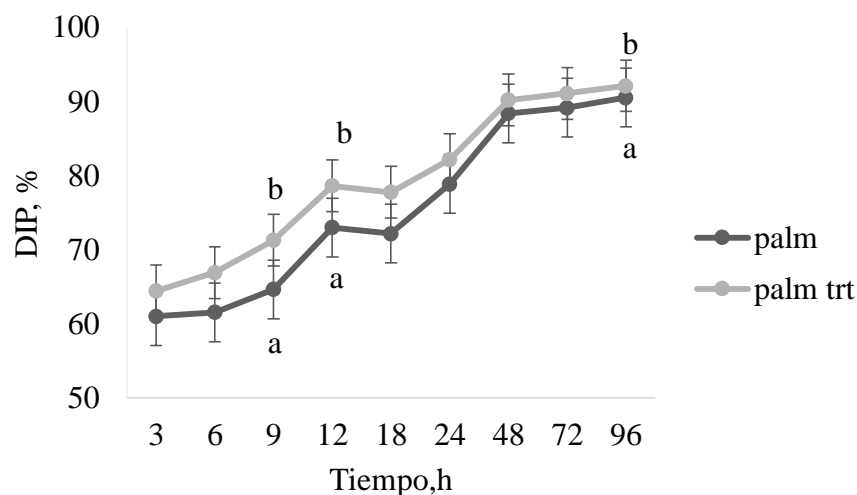


Figura 4 Digestibilidad *in situ* de proteína (DIP), palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido al 5%
Letras diferentes indican valores con diferencias significativas ($P < 0,02$)

4.1.4 Digestibilidad *in situ* de grasa

La digestibilidad *in situ* de grasa se encuentra descrita en la tabla 7 y figura 5. El porcentaje de digestibilidad de grasa presentó diferencia significativa ($P = 0,03$) en la hora 9 de incubación *in situ*, con un incremento del 8 % en el palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%.

En los tiempos 3, 6, 12, 18 y 24 horas no existió diferencia significativa entre tratamientos, sin embargo se encontró incremento numérico de un 2 al 6 %.

Tabla 7
Digestibilidad *in situ* de grasa (DIG) en los tiempos 3, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72, 96 de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio

Item	Tratamiento ¹		ESM ²	Valor_P
	Palm	Palm trt		
DIG, %				
3 h	82,43	86,27	4,20	0,54
6 h	85,44	88,95	3,04	0,35
9 h	87,95	94,84	1,77	0,03
12 h	94,37	97,28	2,02	0,35
18 h	92,19	97,36	3,33	0,11
24 h	98,43	99,95	1,12	0,37

¹ Palm =Palmiste, Palm trt =Palmiste tratado con hidróxido de calcio a una concentración del 5%

² Error estándar de la media, n = 4

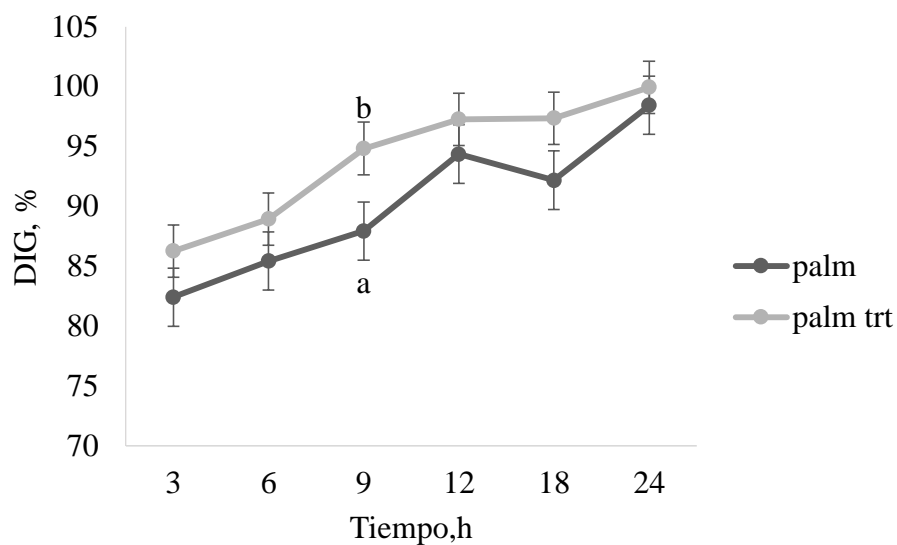


Figura 5 Digestibilidad *in situ* de grasa (DIG), palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido al 5%
 Letras diferentes indican valores con diferencias significativas ($P = 0,03$)

4.1.5 Digestibilidad *in situ* de fibra

La digestibilidad de fibra se encuentra descrita en la tabla 8 y figura 6. Se obtuvo diferencias significativas ($P < 0,04$) en todos los tiempos de incubación 3, 6, 9, 12, 18, 24, 48, 72 y 96 horas teniendo un incremento del 44, 57, 38, 33, 27, 24, 28, 30 y 26 % respectivamente, para el tratamiento con adición de hidróxido de calcio al 5% vs el palmiste sin adición del álcali.

Tabla 8
Digestibilidad *in situ* de fibra (DIF) en los tiempos 0,3,6,9, 12,18,24,48,72,96 de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio

Item	Tratamiento ¹		ESM ²	Valor_P
	Palm	Palm trt		
DIF, %				
3 h	44,38	63,98	1,87	<0,01
6 h	42,10	66,34	4,33	0,01
9 h	50,99	70,38	1,86	<0,01
12 h	59,10	78,61	5,44	0,04
18 h	58,93	75,06	2,44	<0,01
24 h	63,79	79,06	2,96	0,01
48 h	63,81	81,90	2,98	<0,01
72 h	62,23	81,14	2,60	<0,01
96 h	65,34	82,60	0,96	<0,01

¹ Palm =Palmiste, Palm trt =Palmiste tratado con hidróxido de calcio a una concentración del 5%

² Error estándar de la media, n = 4

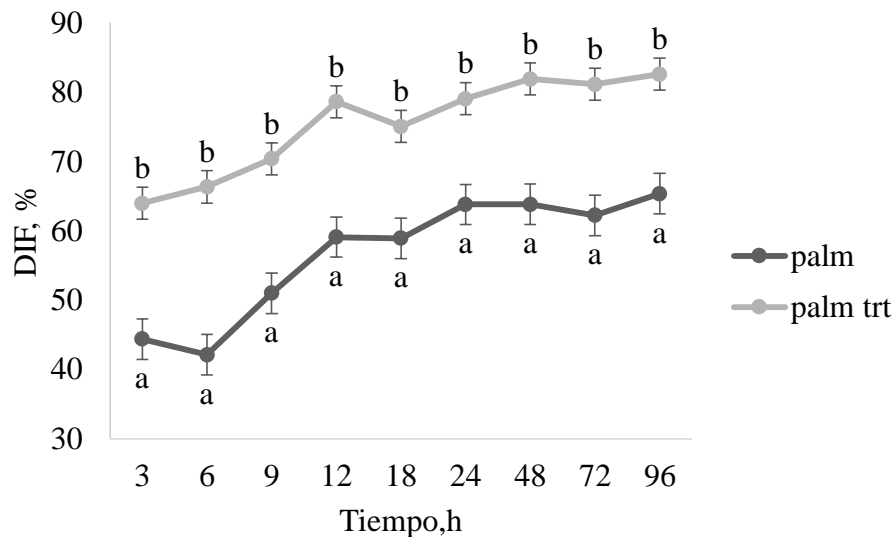


Figura 6 Digestibilidad *in situ* de fibra (DIF), palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido al 5%
 Letras diferentes indican valores con diferencias significativas ($P < 0,04$)

4.1.6 Digestibilidad *in situ* de extracto libre de nitrógeno

La digestibilidad del extracto libre de nitrógeno se encuentra descrita en la tabla 9 y figura 7. No se encontró diferencia significativa ($P < 0,05$) en los tiempos de incubación de 3, 6, 48, 72 y 96 horas, no se obtuvo un incremento en el tratamiento de hidróxido de calcio vs el palmiste sin tratar.

Tabla 9
Digestibilidad *in situ* de ELN los tiempos 0,3,6,9,12,18, 24,48,72,96 de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio

Item	Tratamiento ¹		ESM ²	Valor_P
	Palm	Palm trt		
DIELN, %				
3 h	62,65	33,51	13,45	0,13
6 h	64,21	47,13	19,56	0,48
48 h	86,23	67,50	17,41	0,26
72 h	90,18	83,88	9,44	0,52
96 h	91,11	92,19	5,77	0,90

¹ Palm =Palmiste, Palm trt =Palmiste tratado con hidróxido de calcio a una concentración del 5%

² Error estándar de la media, n = 4

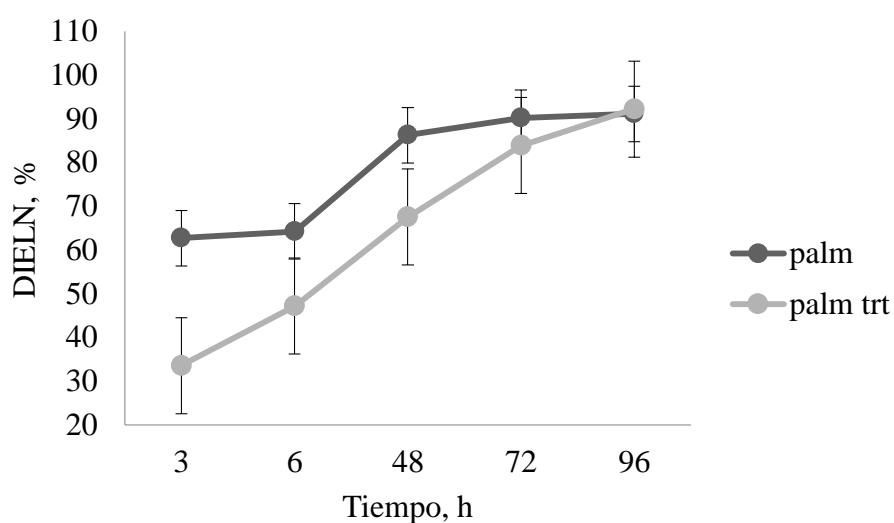


Figura 7 Digestibilidad *in situ* de extracto libre de nitrógeno (DIELN), palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido al 5%

4.1.7 Determinación de Energía en rumiantes

La determinación de energía en base a la digestibilidad *in situ* se encuentra descrita en la tabla 10, 11 y 12, no se encontró diferencias significativas ($P < 0,05$) para nutrientes digestibles totales TDN, energía digestible ED, energía metabolizable EM, energía neta ni energía para lactancia ENL, energía neta de mantenimiento ENM, energía neta de ganancia de peso ENG, en los tiempos de 48, 72 y 96 horas entre palmiste y palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%.

Sin embargo la energía neta de lactancia (ENL) incremento en un 0.05, 0.04 y 0.03 Mcal/Kg a las 48, 72 y 96 horas de digestibilidad de los nutrientes.

Tabla 10
Determinación de energía en el tiempo de 48 horas de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio

Item	Unidad	Tratamiento ¹		ESM ²	Valor_P
		Palm	Palm trt		
48 h					
TDN	%	86,1	88,38	1,03	0,15
ED	Mcal/Kg	3,79	3,89	0,04	0,15
EM	Mcal/Kg	3,10	3,18	0,03	0,17
ENL	Mcal/Kg	1,99	2,04	0,02	0,15
ENM	Mcal/Kg	2,11	2,18	0,02	0,16
ENG	Mcal/Kg	1,70	1,78	0,03	0,13

¹ Palm =Palmiste, Palm trt =Palmiste tratado con hidróxido de calcio a una concentración del 5%

² Error estándar de la media, n = 4

Tabla 11
Determinación de energía en el tiempo de 72 horas de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio

Item	Unidad	Tratamiento ¹		ESM ²	Valor_P
		Palm	Palm trt		
72 h					
TDN	%	87,16	88,62	1,06	0,36
ED	Mcal/Kg	3,83	3,90	0,04	0,34
EM	Mcal/Kg	3,14	3,19	0,03	0,37
ENL	Mcal/Kg	2,01	2,05	0,02	0,32
ENM	Mcal/Kg	2,15	2,19	0,03	0,43

Continúa



ENG	Mcal/Kg	1,74	1,78	0,03	0,35
-----	---------	------	------	------	------

¹ Palm =Palmiste, Palm trt =Palmiste tratado con hidróxido de calcio a una concentración del 5%

² Error estándar de la media, n = 4

Tabla 12
Determinación de energía en el tiempo de 96 horas de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio

Ítem	Unidad	Tratamiento ¹		ESM ²	Valor_P
		Palm	Palm trt		
96 h					
TDN	%	88,79	90,01	0,64	0,11
ED	Mcal/Kg	3,90	3,96	0,02	0,12
EM	Mcal/Kg	3,20	3,24	0,02	0,11
ENL	Mcal/Kg	2,05	2,08	0,01	0,09
ENM	Mcal/Kg	2,20	2,23	0,01	0,11
ENG	Mcal/Kg	1,79	1,82	0,01	0,11

¹ Palm =Palmiste, Palm trt =Palmiste tratado con hidróxido de calcio a una concentración del 5%

² Error estándar de la media, n = 4

4.1.8 Análisis proximal

Se obtuvo una marcada diferencia en el % de fibra entre el palmiste y el palmiste tratado con hidróxido de calcio después de los 30 días de ensilaje, siendo mayor en el tratamiento del álcali con un 90% de incremento

Tabla 13
Análisis proximal de palmiste y palmiste tratado con Hidróxido de Calcio antes y después del proceso de ensilaje

Ítem	Palm		Palm trt	
	día 0	día 30	día 0	día 30
Humedad	5,49	8,65	5,24	5,41
Ceniza	2,91	4,23	3,18	7,65
Proteína	16,85	18,33	16,88	17,49
Grasa	7,44	7,59	7,3	8,23
Fibra	35,16	33,08	35,12	63,15
ELN	32,18	36,77	32,66	3,48

¹Palm =Palmiste, Palm trt =Palmiste tratado con hidróxido de

calcio a una concentración del 5%, al día cero

4.1.9 Cinética de degradación ruminal

Los parámetros de degradabilidad se encuentran descritos en la tabla 14, no se encontraron diferencias significativas entre el palmiste y el palmiste tratado con hidróxido de calcio a 5% para la fracción no degradable, degradación potencial, fracción soluble y degradabilidad efectiva para MS, MO, proteína y fibra ($P \geq 0.16$).

Tabla 14
Parámetros de degradabilidad de palmiste y palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%

Ítem	Tratamiento ¹		SE ²	P>F ³
	Palm	Palm trt		
MS,%				
No Degradable	26,08	38,62	3,41	0,16
Degradación potencial	73,92	61,38	3,42	0,16
Fracción soluble	16,43	20,19	5,25	0,33
Degradabilidad efectiva	23,53	24,15	0,26	0,23
MO,%				
No Degradable	26,36	37,13	5,54	0,27
Degradación potencial	73,64	62,87	5,54	0,27
Fracción soluble	18,23	17,16	5,61	0,59
Degradabilidad efectiva	23,98	24,44	0,31	0,41
Proteína,%				
No Degradable	30,21	36,20	5,04	0,34
Degradación potencial	69,79	63,80	5,04	0,34
Fracción soluble	54,36	55,28	3,61	0,30
Degradabilidad efectiva	33,94	33,41	0,68	0,29
Fibra,%				
No Degradable	36,15	38,75	6,19	0,63
Degradación potencial	63,85	61,25	6,19	0,63
Fracción soluble	59,43	59,25	2,63	0,97
Degradabilidad efectiva	32,68	32,72	0,49	0,49

¹ palm=palmiste, palm trt=palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%

² Error estándar en las medias de los tratamientos, n=4

³ Nivel significativo observado de la prueba F para el tratamiento

4.1.10 Comparación del valor energético del palmiste

En la tabla 15 se encuentra la comparación del valor energético del palmiste reportado en el presente estudio, con lo reportado por otros autores.

Tabla 15
Valor energético del palmiste a las 48, 72 y 96 horas de incubación *in situ* reportado en el presente estudio VS los autores (Alimon, 2004),(Wong & Wan Zahari, 1997) (Wan, Abu, & Wong, 2003)

Autor	Tiempo,h	TDN	ED	EM	ENL	ENM	ENG
		%	Mcal/Kg				
Palm	48	86,1	3,79	3,10	1,99	2,11	1,70
	72	87,6	3,83	3,14	2,01	2,15	1,74
	96	88,9	3,90	3,20	2,05	2,20	1,79
Palm trt	48	88,8	3,89	3,18	2,04	2,18	1,78
	72	88,2	3,90	3,19	2,05	2,19	1,78
	96	90,1	3,96	3,24	2,08	2,23	1,82
¹ A,Alimon,2004		72,7	3,21	2,63	1,67	1,72	1,29
¹ H,Wong & M,Wang,1997		72,4	3,20	2,62	1,66	1,71	1,28
¹ M. Wan Zahari, et al. 2003		73,3	3,24	2,66	1,69	1,75	1,32

Palm = palmiste, Palm trt = palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5% descrito por Rivadeneira, 2017

¹Se tomó los valores de EM de los autores y se transformó a los diferentes parámetros TDN, ED, ENL, ENM, ENG mediante el sistema de la Universidad de California.

4.1.11 Comparación de la energía neta de lactancia ENL y la digestibilidad *in situ* de fibra

En la figura 8 se encuentra la comparación de la energía neta de lactancia ENL y la digestibilidad *in situ* de fibra, en donde se observa una relación directa de estas dos

variables ya que a medida que se incrementa la digestibilidad también se incrementa la ENL.

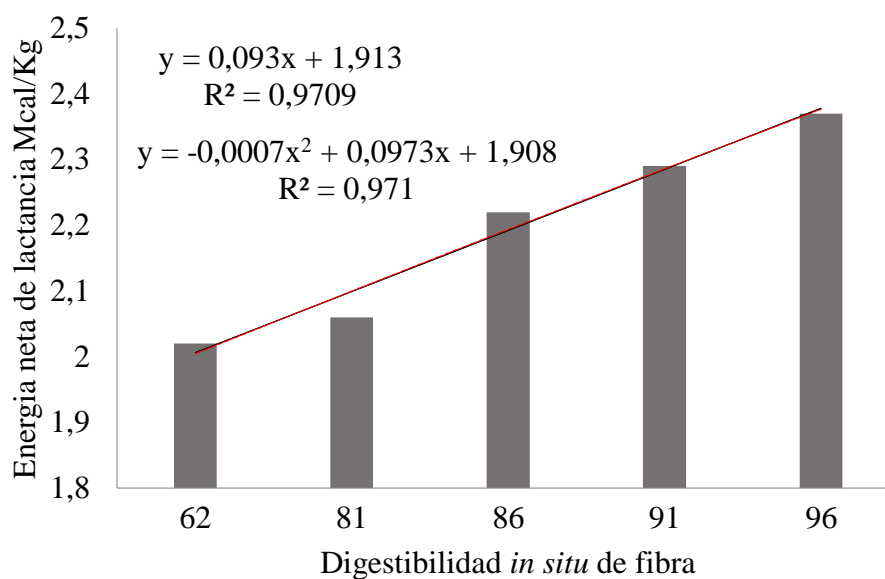


Figura 8 Variación de la energía neta de lactancia a diferentes porcentajes de digestibilidad *in situ* de fibra (DIF) de palmiste

4.1.12 Margen de ganancia de palmiste en base a distintos niveles de digestibilidad *in situ* de fibra

En la figura 9 se encuentra la variación del margen de ganancia de palmiste con diferentes niveles de digestibilidad *in situ* de fibra, siendo mayor el margen de ganancia del palmiste en comparación con el palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%, esto se debe a que al tratar al palmiste con hidróxido de calcio se incurre en una mayor cantidad de costos que afectan al margen de ganancia.

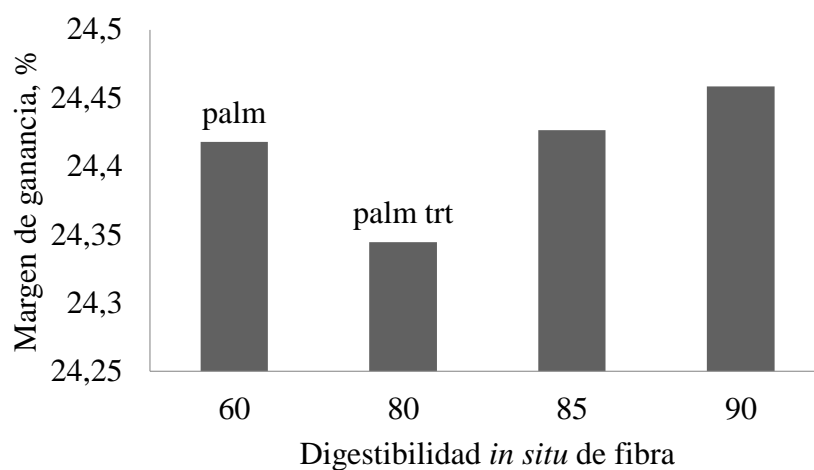


Figura 9 Margen de ganancia para diferentes % de digestibilidad *in situ* de fibra, palm = palmiste, palm trt = palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%

4.1.13 Curva de digestibilidad de palmiste en equipo NIRs

En la figura 10, se observa la interfaz de trabajo para la digestibilidad de MO, proteína, grasa, fibra, ELN y MS en el palmiste, con esto no solamente se podrá realizar el análisis proximal en el equipo sino que también se puede predecir la digestibilidad de los nutrientes.

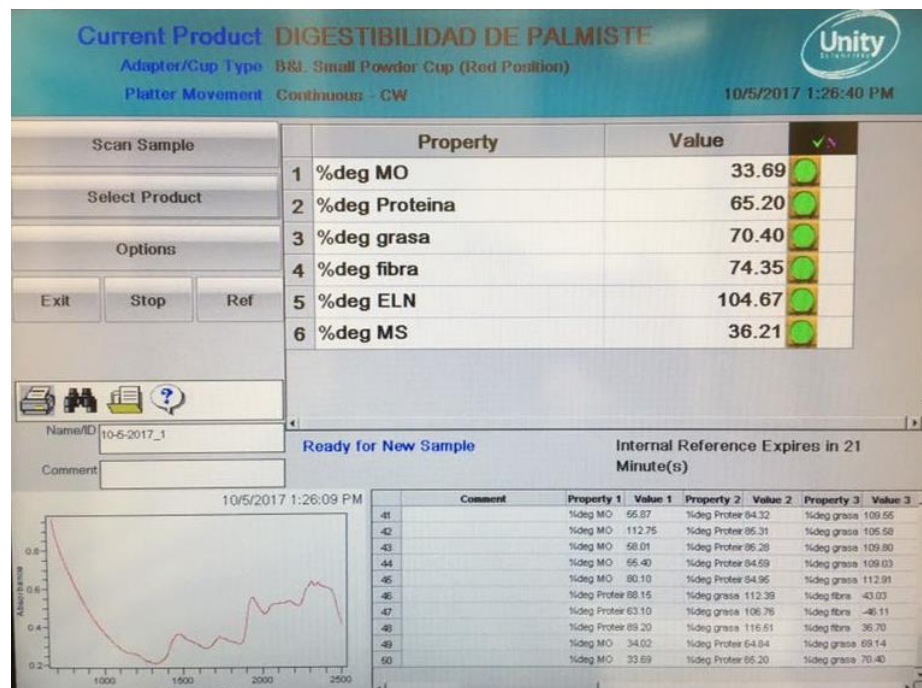


Figura 10 Interfas de equipo NIRs para digestibilidad de palmiste

En la figura 11 se puede observar el espectro del equipo NIRs del cual se generó la curva de calibración para la digestibilidad de los nutrientes del palmiste

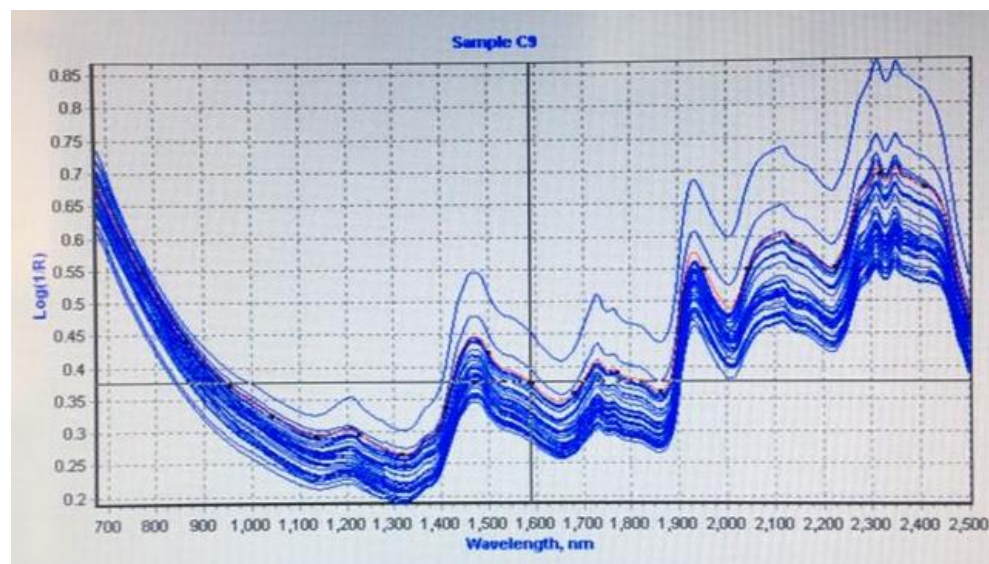


Figura 11 Curva de calibración del equipo NIRs, para los parámetros de digestibilidad de palmiste

4.2 Discusión

En el presente estudio se observó un incremento en la digestibilidad de MS, MO, proteína y fibra para el tratamiento con hidróxido de calcio al 5%, los resultados obtenidos tienen concordancia con lo reportado por Haddad, Grant, & Klopfenstein, 1995 en donde se aplicaron tratamientos alcalinos como hidróxido de calcio, hidróxido de sodio y urea en paja de trigo triturada, en donde los valores más altos de digestibilidad de fibra se encontraron con el tratamiento con adición de hidróxido de calcio a un 5%, con un incremento del 13% en relación con el tratamiento control sin adición de ningún agente químico.

El incremento de la digestibilidad se traduce en una mejora en la ingesta de MS, MO y tasa de paso de partículas (Wanapat, Polvorach, Boonnop, Mapato, & Cherdthong, 2009), (Oliveros, Brtton, & Klopfenstein, 1993).

La digestibilidad de MS a las 12 horas de incubación 37%, tiene concordancia con lo reportado por Van Straalen, Odinga, & Mostert, 1997 en donde la digestibilidad del palmiste es de un 39%.

En el tratamiento de palmiste con hidróxido de calcio al 5%, la digestibilidad de MS a las 48 horas es de 69 % y llega a tener valores equivalentes a fuentes de fibra forrajera como alfalfa, brachiaria y kikuyo a las 48 horas es 71.7 %, 63.9 % y 71.4 %, respectivamente (Arreza, Sanchez, & Abadia, 2005) y es mayor para fuentes de fibra no forrajera como gluten de maíz y granos de destilería la digestibilidad de MS es de 62 % y 62.6 % respectivamente (Peter, y otros, 2000).

La digestibilidad de proteína en el presente experimento de palmiste es del 75 % similar a lo observado por Wong & Wan Zahari, 1997 en donde se reportó el 77 %, se obtuvo una diferencia significativa para digestibilidad de proteína únicamente en los tiempos de 9 y 96 h, sin embargo existe una tendencia de incremento en el valor de digestibilidad de proteína. Se puede lograr un mayor porcentaje de proteína con la adición de urea ya que interactúa significativamente con el hidróxido de calcio mejorando el valor nutritivo de sustratos muy fibrosos (Zaman & Owen, 1995).

Se obtuvo diferencias significativas para la digestibilidad de fibra en todos los tiempos de incubación, siendo mayor en el tratamiento de palmiste tratado con hidróxido de calcio al 5%. Este incremento se atribuye a que el hidróxido de calcio

es capaz de donar iones OH⁻ para la hidrólisis de las uniones ésteres que ligan las fibras entre sí (Ramírez, Alonso, & Rigal, 2012). El incremento de pH provoca esta ruptura entre los enlaces éster y lignina y carbohidratos fibrosos lo que facilita la acción de las enzimas microbianas, esto cambia la estructura de la pared celular y provoca su hidratación, otro efecto del hidróxido de calcio es la formación de un complejo con la celulosa mediante la ruptura de enlaces hidrógeno reduciendo la cristalinidad de esta y aumentando su fragilidad que genera una mejor digestión enzimática, estos factores provocan una fragmentación más rápida del sustrato ingerido por el animal (Menezes, y otros, 2011).

El efecto del hidróxido de calcio en el palmiste permite que los componentes de la fibra se encuentren más disponibles para la micro biota ruminal incrementando su eficacia y la digestibilidad de fibra.

Los datos reportados en el presente estudio de digestibilidad fibra 64 % para palmiste tienen concordancia con lo reportado por Wong & Wan Zahari, 1997 en donde la digestibilidad de fibra es 76 %.

Los parámetros de cinética ruminal; fracción no degradable, degradación potencial, fracción soluble y degradabilidad efectiva no presentaron diferencia significativa entre tratamientos, sin embargo existió una diferencia numérica, la degradabilidad efectiva en el tratamiento de palmiste con adición de hidróxido de calcio a un 5%, incremento un 2.67 % para MS, 1.91 % para MO y 3.18 % en fibra.

Los valores de la presente investigación en cinética ruminal para degradabilidad efectiva de MS en palmiste con un 23.52 % tienen relación con lo reportado en el estudio realizado por Silva, y otros, 2012 en donde la degradabilidad efectiva fue de 19.34%.

La degradabilidad efectiva de proteína y fibra reportada en el presente estudio es de 33.94 % y 32.68 % respectivamente, es una DE baja en comparación con los granos de destilería

La descripción de la cinética ruminal otorga una base sólida y útil para una adecuada evaluación y un uso eficiente de los alimentos utilizados en la alimentación de bovinos (Posada & Noguera, 2005)

Se observó la desaparición marcada de nutrientes en el palmiste tratado con hidróxido de calcio, esto se traduce en el incremento de digestibilidad (Chaudhry, 2000).

El valor nutricional de las materias primas fibrosas como es el caso del palmiste se puede mejorar usando hidróxido de calcio (Dias, 2011). La utilización de hidróxido de calcio tiene un gran potencial en zonas que se ven afectadas por temporadas de lluvias intensas seguidas de sequías (Gandhi & Holtzaple, 1998), es fácilmente disponible y menos peligroso para el ambiente (Chaudhry, 2000) es fácil de manejar, menos caustico que el hidróxido de sodio y proporciona una fuente de Calcio (L. Shreck, 2015).

En la presente investigación se incrementó en un 28% la digestibilidad de la fibra con la adición de hidróxido de calcio, llegando al 82 % en la hora 96. Sin embargo esto no generó un incremento significativo ($P > 0,05$) en la energía neta de lactancia (ENL), solamente se incrementó en 0,04 Kcal/Kg. Lo que conlleva a pensar en cuanto debe incrementarse el % de digestibilidad de fibra para que tenga un impacto económico en la producción.

Para analizar el impacto económico que tuvo el hidróxido de calcio al 5% sobre el palmiste se utilizó el margen de ganancia, colocando como base una producción promedio en explotaciones tecnificadas de 15 litros y con un costo de producción de 0,34 ctvs por litro (Taboada, 2012).

Los costos que se tomó en cuenta fue la mano de obra, insumos como fundas, piolas, agua e hidróxido de calcio. El incremento de la digestibilidad del palmiste al tratarlo con hidróxido de calcio al 5% genera un costo adicional, este rubro afecta negativamente al margen de ganancia, es decir más rentabilidad genera el palmiste solo que al tratarlo.

Al tomar en cuenta únicamente la digestibilidad de fibra es necesario incrementarla en un 25% para obtener un retorno económico similar al palmiste sin tratar. Considerando que se necesita 0.749 Mcal/kg de leche con un porcentaje de grasa del 4% (National Research Council, 2001).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El tratamiento de hidróxido de calcio a una concentración del 5%, fue eficiente en el incremento de digestibilidad de todos los nutrientes analizados MS, MO, fibra, proteína, grasa ELN. Sin embargo se encontró mejores resultados sobre la digestibilidad de fibra en todos los tiempos de incubación, con un incremento del 28% en los últimos tres tiempos de 24,48 y 96 horas, y en la digestibilidad de materia seca incremento en un 17% con el tratamiento de hidróxido de calcio, demostrando así que existe un efecto positivo sobre el valor nutricional de la torta de palmiste.

A pesar del marcado incremento en el % de digestibilidad, no se logró obtener un incremento significativo en la ENL y ENG, por lo tanto es necesario incrementar aún más el valor nutricional de la torta de palmiste, con la adición de urea o melaza.

A partir de un incremento del 25% en la digestibilidad de fibra del palmiste se obtiene mayor rentabilidad que el palmiste sin tratar.

5.2 Recomendaciones

Si se utiliza el tratamiento de hidróxido de calcio para incrementar el valor nutricional del palmiste, se recomienda estandarizar el proceso para el tratamiento como la dosis, método de aplicación, homogenización del producto.

Es necesario realizar el experimento en condiciones *in vivo*, para observar el efecto que tiene la aplicación del tratamiento en producción.

Por la alta degradación de fibra se recomienda repetir el ensayo con diferentes sustratos fibrosos para analizar el efecto que tiene en las diferentes fuentes de fibra.

Debido al bajo retorno económico que se obtiene con la aplicación de hidróxido de calcio, se recomienda repetir el ensayo con la adición de aditivos que permitan incrementar aún más el valor energético del palmiste como melaza o urea.

Se debe incrementar la cantidad de datos en el equipo NIRs con el fin de robustecer la curva de calibración.

Es necesario la divulgación de los resultados a los pequeños y medianos productores para que conozcan de nuevas técnicas factibles y efectivas para el incremento del valor nutricional del palmiste.

5.3 Bibliografía

- Abdelgadir, I., Cochran, R., Vanzant, E., & Titgemeyer, E. (1996). In vitro estimation of ruminal protein degradability of forages. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Report, 1*, 58-59.
- Alava Hidalgo, E., & Rodríguez, J. (2006). *Evaluación de tres niveles de palmiste en reemplazo de las fuentes tradicionales de energía en dietas de crecimiento y acabado en cerdos*. Recuperado el 1 de 7 de 2016, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1665/1/3338.pdf>
- Alimon, A. (2004). *Nutrient digestibility of palm kernel cake for animal feed*. Recuperado el 25 de Agosto de 2017, de ResearchGate: <https://www.researchgate.net/publication/242540604>
- Alomar, D., & Fchslocher, R. (1998). Fundamentos de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano NIRs. *Agro sur*, 26(1), 88-104. Recuperado el 28 de 9 de 2016, de http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0304-88021998000100011&script=sci_arttext&tlng=es
- Arreza, L., Sanchez, D., & Abadía, B. (2005). Degradabilidad ruminal de fracciones de carbohidratos en forrajes tropicales determinada por métodos in vitro e in situ. *Revista corpoica*, 52-57.
- Chaudhry, A. (2000). Rumen degradation in sacco in sheep of wheat straw treated with calcium oxide, sodium hydroxide and sodium hydroxide plus hydrogen peroxide. *Animal Feed Science and Technology*, 83, 313-323.
- Cochran, R., Adams, D., Wallace, J., & Galyean, M. (1986). Predicting digestibility of different diets with internal markers: Evaluation of four potential markers. *Journal Animal Science*, 63, 1476-1483.
- Cuenca González, J. (2015). *Composición y valor nutricional de la torta de palmiste en tres plantas extractoras del aceite de palma africana en el Ecuador*. Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE, Quito.

- Delgado, M. E. (2007). *Análisis mundial de la cadena de valor de la palma africana ecuatoriana*. Recuperado el 20 de 4 de 2016, de http://www.puce.edu.ec/economia/docs/disertaciones/2007/2007_ayala_eguez_Maria_elena.pdf
- Dias, A. M. (2011). Sugar cane treated with calcium hydroxide in diet for cattle: intake, digestibility of nutrients and ingestive behaviour. *Revista brasileira de zootecnia*, 40(8), 1799-1806.
- DiLorenzo, N., Garcia, M., Darren , H., Tessa, S., Benítez , J., Ruiz, M., . . . Ponce, C. (2015). *Nutrición animal en sistemas tropicales: Uso de residuos agrícolas en la producción animal*. Cuenca.
- FAO. (2015). *Interacciones con ganado*. Recuperado el 01 de 05 de 2016, de <http://www.fao.org/ag/ca/es/4.html>
- FAO. (2016). *Determinacion de humedad*. Recuperado el 6 de 10 de 2016, de <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab489s/AB489S03.htm>
- FAO-BIODIVERSITY. (2008). Geographical distribution of the Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Plant Genetic Resources Newsletter*(155), 1-8. Recuperado el 12 de ENERO de 2017, de <http://www.bioversityinternational.org>
- FASS. (2010). *Guide for the care and use of agricultural animals*. Recuperado el 25 de 9 de 2016, de http://www.fass.org/docs/agguide3rd/Ag_Guide_3rd_ed.pdf
- FEDNA. (2015). *Torta de presión de palmiste*. Recuperado el 12 de 6 de 2016, de <http://fundacionfedna.org/node/439>
- Gandhi, J., & Holtzapfle, M. (1998). CALCIUM HYDROXIDE TREATMENT OF MILLET STRAW TO IMPROVE ITS RUMEN DIGESTIBILITY. *Animal Production in Australia*, 22, 122-124.
- Giraldo, L., Gutierrez, L., & Rúa , C. (2007). Comparison between in vitro and in situ protocols for estimating true digestibility of several tropical forages. *Revista colombiana de ciencias pecuarias*, 269-279.
- Goering, H., & Van Soest, P. (1970). Forage fiber analysis. *Animal Science Research Division* (379), 1-24.
- Google Maps. (s.f.). *Mapa del Instituto Agropecuario Superior Andino*. Recuperado el 16 de Agosto de 2016, de

<https://www.google.com.ec/maps/place/IASA/@-0.3867899,-78.4172305,3848m/data=!3m1!1e3!4m8!1m2!2m1!1siasa!3m4!1s0x0:0xc6c8b2bb6c026969!8m2!3d-0.3856344!4d-78.416419>

- Hackmann, Sampson, & Spain. (2008). Comparing relative feed value with degradation parameters of grass and legume forages. *Journal Animal Science*, 2344-2356.
- Haddad, S., Grant, J., & Klopfenstein, T. (2014). Digestibility of alkali-treated wheat straw measured in vitro. *Journal Animal Science*, 73, 3258-3265 . Recuperado el 6 de 6 de 2016, de <https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/pdfs/72/12/3258>
- Haddad, S., Grant, R., & Klopfenstein, T. (1995). Digestibility of alkali-treated wheat straw measured in vitro or in vivo using Holstein heifers. *Journal Animal Science*, 72(12), 3258-3265.
- INDUPALMA. (2012). *Torta de palmiste expeller*. Recuperado el 12 de 6 de 2016, de <http://www.indupalma.com/sites/default/files/tarjetones/TORTA%20PALMISTE.pdf>
- INEC. (2014). *Consumo de materias primas segun clasificacion central de productos*. Recuperado el 2 de 11 de 2016, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/manufactura-y-mineria/>
- INEC. (2014). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria*. Recuperado el 21 de 7 de 2016, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2014-2015/2014/Presentacion%20de%20resultados%20ESPAC_2014.pdf
- INEC. (2015). *Encuesta de manufactura y mineria*.
- INEC. (2016). *Encuesta de superficie y produccion agropecuaria continua*. Ecuador en cifras .
- INEN 174. (1986). *Determinación del contenido de grasa*. Recuperado el 7 de 10 de 2016, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0174.1975.pdf>
- INEN 519. (1980). *Determinación de la proteína*. Recuperado el 7 de 10 de 2016, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0519.1981.pdf>

- INEN 520. (1980). *Determinación de la ceniza*. Recuperado el 7 de 10 de 2016, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0520.1981.pdf>
- INEN 522. (1980). *Determinación de la fibra cruda*. Recuperado el 8 de 10 de 2016, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0522.1981.pdf>
- Jackson, F., & Zumbado, M. (1996). Efecto de la presencia de endocarpo en el palmiste integral. *Agronomía costarricense*, 20(2), 145-149. Recuperado el 20 de 6 de 2016, de http://www.mag.go.cr/rev_agr/v20n02_145.pdf
- Kemp T. (1980). The use of nylon bags to characterise the potential degradability of feeds for ruminants. *Tropical Animal Production*, 5(2), 107-115.
- L. Shreck, B. L. (2015). Digestibility and performance of steers fed low-quality crop residues treated with calcium oxide to partially replace corn in distillers grains finishing diets. *Journal animal science*, 93(2), 661-671.
- Lindberg, J. (1985). Estimation of rumen degradability of feed proteins with the in sacco technique and various in vitro methods: a review [nylon bag technique, in vivo]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Supplementum*, 26-64.
- McDonald, Edwards, Greenhalgh, & Morgan. (1999). *Nutrición animal* (5 ed.). ACRIBIA, S.A.
- Menezes, A., Vinhas, L., Damasceno, J., Dos santos, G., Brandao, C., Ferreira, F., . . . Muniz, C. (2011). Sugar cane treated with calcium hydroxide in diet for cattle: intake, digestibility of nutrient and ingestive behaviour. *Revista brasileira de zootecnia*, 40(8), 1799-1806.
- MIDA. (2015). *Alternativas prácticas frente a las necesidades de alimentos para el ganado causada por la época seca*. Recuperado el 22 de 6 de 2016, de <http://www.mida.gob.pa/upload/documentos/trabajoepocaseca.pdf>
- Morgado, F. (2015). *Acerca de las muestras para crear un modelo de calibración*. INTERLAB, Santiago de Chile.
- National Research Council. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. *National Academy Press*, 7th, 16-20.
- Official Methods of Analysis. (1984). Metodo Kjeldahl. 13 th.
- Official Methods of Analysis. (1990). *Metodo Soxhlet* (Vol. 15th Edition). U.S.A.

- Oliveros, B., Brtton, R., & Klopfenstein, T. (1993). Ammonia and/or calcium hydroxide treatment of maize stover: intake, digestibility and digestion kinetics. *Animal Feed Science and Technology*, 44, 59-72.
- Orskov, & McDonald. (1981). A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, 96(1), 251-252.
- Perozo, A. (2013). *Manejo de pastos y forrajes tropicales*. Maracaibo, Venezuela: GIRARZ.
- Peter, C., Faulkner, D., Merchen, N., Parrett, D., Nash, T., & Dahlquist, J. (2000). The effects of corn milling coproducts on growth performance and diet digestibility by beef cattle. *Journal of animal science*, 78, 1-6.
- Posada, S., & Noguera, R. (2005). Técnica in vitro de producción de gases. *Livestock Research for Rural Development*, 17(4), 2-18.
- Proecuador. (2014). *Aceite de palma y elaborados*. Recuperado el 10 de 5 de 2016, de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/05/PROEC_AS2015_ACEITEPALMA.pdf
- Ramírez, C., Alonso, M., & Rigal, L. (2012). Valorization of tequila agroindustrial residues for ruminants feeding. *Revista chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(3).
- Rosero, R., & Ochoa, S. (2007). Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Revista colombiana de ciencias pecuarias*, 174-182.
- Ruiz, M., & Ruiz, A. (1990). *Nutricion de rumiantes*. San jose, Costa Rica: IICA.
- SEGARPA. (2014). *Aprovechamiento de esquilmos y subproductos en la alimentacion del ganado*. Recuperado el 19 de octubre de 2017, de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Aprovechamiento%20de%20esquilmos.pdf>
- Silva, R., Oliveira, R., Carvalho, G., Ribeiro, O., Leao, A., Faria, M., & Ledo, C. (2012). Degradabilidade ruminal e balanço energético em vacas leiteiras a pasto suplementadas com torta de dende. *Revista brasileira de produccion animal*, 13(2), 503-515.

- Taboada, C. (2012). Determinacion del costo de produccion del litro de leche en base al nivel de tecnologia en hatos ganaderos de la zona de Cayambe y Pedro Moncayo. *Universidad Salesiana* , 1-138.
- Tilley, J., & Terry, R. (1963). A two stage technique for the in vitro digestion of forage of forage crops. *The grassland research institute*, 18, 104-111.
- Tobal. (1999). *Evaluacion de los alimentos a traves de los diferentes metodos de digestibilidad*. Recuperado el 15 de 5 de 2016, de <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/anuavet/n1999a16tobal.pdf>
- UNITY SCIENTIFIC. (2010). Operation manual. *SpectraStar*.
- Van Straalen, W., Odinga , J., & Mostert, W. (1997). Digestion of feed amino acids in the rumen and small intestine of dairy cows measured with nylon-bag techniques. *British Journal of Nutrition*, 77, 83-97.
- Vanzant, E., Cochran, R., & Titgemeyer, E. (1998). Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation. *Journal Animal Science*, 76, 2717-2729.
- Vargas , E., & Zumbado, M. (2003). Composición de los subproductos de la industrializacion de la Palma Africana utilizados en alimentación animal en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 27(1), 7-18.
- Vera, H., & Aragundi, A. (2014). Implemetacion de cánulas ruminales a dos bovinos del departamento de producción animal. *Universidad técnica de Manabí*. Recuperado el 5 de 15 de 2016
- Villalobos, C., Gonzales, E., & Ortega, J. (2000). Técnicas para estimar la degradación de proteína y materia orgánica en el rumen y su importancia en rumiantes en pastoreo. *Técnica pecuaria en México*, 38(2), 119-134.
- Walker, J. (2013). *Alkaline Treatment Of Low Quality Forages*. Recuperado el 6 de 6 de 2016, de <http://igrow.org/livestock/beef/alkaline-treatment-of-low-quality-forages-corn-stovers/>
- Wan, M., Abu, O., & Wong, H. (2003). Utilization of oil palm front-based diets for beef and dairy production in malaysia. *Journal Animal Science*, 16(4), 625-634.
- Wanapat, M., Polyorach, S., Boonnop, K., Mapato, C., & Cherdthong, A. (2009). Effects of treating rice straw with urea or urea and calcium hydroxide upon

intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield of dairy cows. *Livestock Science*, 125, 238-243.

Wolfgang Stehr, W. (2012). *Alimentos complementarios para produccion de carne*. Recuperado el 22 de 6 de 2016, de <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/NUTRICION/TEORICOS/Tema%20Material%20de%20lectura.%20Alimentos.%20Generalidades.pdf>

Wong, H., & Wan Zahari, M. (1997). Nutritive value of palm kernel cake and cocoa pod husks for growing cattle. *Journal of tropical agriculture and food science*, 25(1), 125-131.

Zaman, M., & Owen, E. (1995). The effect of calcium hydroxide and urea treatment of barley straw on chemical composition and digestibility in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 51, 165-171.

Zumbado, M., Madrigal, S., & Marin, M. (1992). Composicion y valor nutricional de palmiste o coquito integral de palma africana. *Agronomia costarricense*, 16(1), 83-89. Recuperado el 13 de 5 de 2016