Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Zootecnia | Facultad de Ciencias Agropecuarias

2017

Valoración nutricional y parámetros de fermentación del ensilaje de yacón y cáscara de naranja

Juan Carlos Pinzón Rodríguez
Universidad de La Salle, Bogotá

Juan Fernando Lemus Gámez
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia

Part of the Agronomy and Crop Sciences Commons, and the Nutrition Commons

Citación recomendada

Pinzón Rodríguez, J. C., & Lemus Gámez, J. F. (2017). Valoración nutricional y parámetros de fermentación del ensilaje de yacón y cáscara de naranja. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/196

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ciencias Agropecuarias at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Zootecnia by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

VALORACIÓN NUTRICIONAL Y PARÁMETROS DE FERMENTACIÓN DEL ENSILAJE DE YACÓN Y CÁSCARA DE NARANJA

JUAN CARLOS PINZÓN RODRÍGUEZ

JUAN FERNANDO LEMUS GÁMEZ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE ZOOTÉCNICA

UNIVERSIDAD
DE LA SALLE
Educar para Pensar, Decidir y Servir

BOGOTÁ, COLOMBIA

2017

VALORACIÓN NUTRICIONAL Y PARÁMETROS DE FERMENTACIÓN DEL ENSILAJE DE YACÓN Y CÁSCARA DE NARANJA

JUAN CARLOS PINZÓN RODRÍGUEZ
JUAN FERNANDO LEMUS GÁMEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

ZOOTECNISTA

Directora **LAILA CRISTINA BERNAL BECHARA** Zoot., M.Sc. Agrarias
Producción Animal Tropical, (c) Ph.D. en Agrociencias
Línea de Investigación en Producción Animal Sustentable

UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTÉCNIA
BOGOTÁ, COLOMBIA
2017

DIRECTIVAS

Hermano Alberto Prada Sanmiguel
Rector

Doctora Carmen Amalia Camacho
Vicerrectora Académica

Hermano Diego Andrés Mora Arenas
Vicerrector de Promoción y Desarrollo Humano

Doctor Luis Fernando Ramírez
Vicerrector de Investigación y Transferencia

Doctor Eduardo Ángel Reyes.
Vicerrector Administrativo

Doctora Saray Yaneht Moreno Espinosa
Secretaria General

Hermano Ariosto Ardila Silva
Decano Facultad de Ciencias Agropecuarias

Doctor Alejandro Tobón
Secretario Académico Facultad De Ciencias Agropecuarias

Doctor Abelardo Conde Pulgarín
Director Programa De Zootecnia

Doctora María Camila Corredor Londoño
Asistente Académica Programa de Zootecnia

APROBACIÓN

_____

Doctor Abelardo Conde Pulgarín
Director de Programa

_____

Doctora María Camila Corredor Londoño
Asistente Académica de Programa

_____

Doctora Laila Cristina Bernal Bechara
Director Trabajo de Grado

_____

Doctora Danella Abril
Jurado

_____

Doctora Carolina Bespalhok
Jurado

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de grado a nuestros padres, quienes fueron parte fundamental durante este largo proceso de aprendizaje; quienes, con su educación, consejos, apoyo económico y moral nos ayudaron a guiar y forjar el camino para lograr culminar nuestro proceso de formación profesional como zootecnistas.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer y dar honra a Dios por darnos sabiduría y fortaleza durante todo el tiempo que estuvimos formándonos en la universidad y hoy poder culminar con éxitos nuestros estudios.

Agradecer a nuestros padres por todo el apoyo, que nos brindaron durante nuestro proceso de formación.

Y por último queremos dar un reconocimiento a todos nuestros maestros ya que ellos nos enseñaron y formaron en cada una de sus especialidades para ser los mejores y a superarnos cada día. Especialmente queremos agradecer y exaltar la labor de nuestra tutora la doctora Laila Cristina Bernal Bechara quien nos guió y acompañó durante todo este proceso con mucha sabiduría, paciencia, dedicación y esfuerzo para que esto fuera posible.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 12
2. OBJETIVOS 14
2.1 Objetivo General 14
2.2 Objetivos Específicos 14
3. MARCO TEÓRICO 15
3.1 Situación actual de la ganadería en Colombia 15
3.2.1 Fases del ensilaje 19
3.2.1.1 Fase aeróbica o de respiración: 19
3.2.1.2 Fase de fermentación: 19
3.2.1.3 Producción máxima de ácido láctico y estabilización: 20
3.2.1.4 Fase de deterioro aeróbico. 20
3.2.2 Bioquímica del ensilaje 21
3.2.2.1 Carbohidratos: 21
3.2.2.2 Sustancias Nitrogenadas: 22
3.2.2.3 Ácidos Orgánicos 22
3.2.2.4 Vitaminas: 23
3.2.2.5 Nitrógeno Amoniacal: 23
3.2.3 Formación de sustancias tóxicas 24
Micotoxinas 24
3.2.4. Parámetros de fermentación del ensilaje 24
3.2.4.1 Fermentaciones secundarias 27
- Fermentación butírica 27

- Fermentación alcohólica 27
3.2.5. Características físicas y organolépticas 28
3.2.6 Consideraciones para un buen ensilado 29
3.2.7 Tipos de silos 30
3.2.7.1 Silo bunker 31
3.2.7.2 Silo trinchera 31
3.2.7.3 Silo de bolsa plástica: 31
3.3 Yacón (*Smallathus sonchifolius)* 32
3.3.1 Taxonomía 33
3.3.2 Producción de yacón en Colombia 38
3.4 Naranja (*Citrus sinensis)* 39
3.4.1 Taxonomía 40
3.4.2 Producción de cáscara de naranja en Colombia 42
4. METODOLOGÍA 44
4.1 Ubicación: 44
4.2 Especies vegetales para los tratamientos: 45
4.2.1 Yacón 45
4.2.2 Cáscara de naranja: 45
4.3 Elaboración Del Ensilaje 45
4.4 Tratamientos 46
4.5 Evaluación de los parámetros de fermentación de los tratamientos de ensilaje 47
4.6 Evaluación del valor nutricional de los tratamientos de ensilaje 47
4.7 Diseño Experimental 48

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....49
5.1 Parámetros de fermentación 49
5.2 Valor nutricional.....59
5.3 Análisis de Costos 65
6. CONCLUSIONES.....69
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....70

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de fermentación del ensilaje 25

Tabla 2 Características organolépticas de un ensilaje 28

Tabla 3 Clasificación taxonómica del yacón *(Smallathus sonchifolius)* 33

Tabla 4 Comparación de la composición química de las raíces del yacón *(Smallathus sonchifolius)* 34

Tabla 5 Comparación de la composición química de las hojas y tallos del yacón *(Smallathus sonchifolius)* 34

Tabla 6 Análisis bromatológico del tubérculo de tres variedades de yacón 35

Tabla 7 Clasificación taxonómica de la naranja *(Citrus sinensis)* 40

Tabla 8 . Análisis nutricional de la naranja valencia.....42

Tabla 9 Valor nutricional para cada tratamiento..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 10 Estructura de costos para el procesamiento de 2700 kg de ensilaje de hoja de yacón.....65

Tabla 11 Estructura de costos para el procesamiento de 1000 kg de ensilaje de cascara de naranja 66

Tabla 12 Análisis de costos para cada tratamiento.....67

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Tasa de crecimiento del PIB total y PIB agropecuario 16

Figura 2. Variación anual cabezas sacrificadas, peso en pie y peso en canal III trimestre 2016/2015 17

Figura 3. Mapa ubicación del sitio del cultivo.....44

Figura 4. Valor de pH a la hora inicial de elaboración del ensilaje. 50

Figura 5. Valor de pH en la hora 20 para cada ensilaje. 51

Figura 6. Valor de pH en la hora 28 para cada ensilaje 52

Figura 7. Valor de pH en la hora 44 para cada ensilaje 53

Figura 8. Valor de pH en la hora 48 para cada ensilaje 54

Figura 9. Valor de pH para el día 45 de cada ensilaje 55

Figura 10. Nitrógeno Amoniacal para cada ensilaje.....57

Figura 11. Análisis de costos para cada tratamiento 67

1. INTRODUCCIÓN

Según FEDEGAN 2016, actualmente en Colombia la ganadería bovina se maneja bajo sistemas extensivos, los cuales son considerados ineficientes en su uso y muchos de ellos no cuenta con el manejo de tecnologías adecuadas, lo que se ven revertidos en los pobres indicadores productivos. Según publicación de Vásquez (2015) el área rural en el territorio colombiano tiene un uso agropecuario del 38,3% del cual el 19,8%, es decir 8,5 millones de hectáreas, fue para agricultura en el que sólo 7,1 millones se cultiva, mientras que un 79,9%, es decir 33,8 millones de hectáreas están destinadas en pastos para el desarrollo de la ganadería extensiva.

En este contexto es de vital importancia, optimizar el manejo de los sistemas de producción de ganado, mejorando la oferta forrajera en el tiempo, garantizando su disponibilidad, la cual por efectos de clima tiende a disminuirse y en algunos casos dependiendo de las zonas, sufre procesos de inundación y sequía extrema que hace que el área de forraje desaparezca o se diezme su producción. Con el ánimo de mejorar estos indicadores productivos, el maximizar la productividad es un reto para la producción animal, aumentando la oferta forrajera e incentivando el uso de tecnologías ya conocidas, pero poco empleadas por los productores como es el caso de la conservación de forrajes; estas estrategias tienden básicamente a garantizar el suministro de alimentos de alta calidad al ganado, buscando finalmente aumentar su productividad.

Además, teniendo en cuenta la diversidad forrajera existente en el país, y considerando que hay varias especies que no han sido estudiadas ni trabajadas

en Colombia; se plantea en el presente trabajo, la utilización de especies vegetales alternativas como el yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y la utilización de subproductos agroindustriales como la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) como insumos para la alimentación animal mediante la técnica de ensilaje.

En el presente trabajo se pretende comparar el valor nutricional de una dieta a base de hojas de yacón y cascara de naranja a diferentes niveles de inclusión, buscando la mejor alternativa nutricional en términos de calidad para los animales, considerando que la productividad de la ganadería tropical depende de la calidad y cantidad de nutrientes aportados por los alimentos que estos consumen; por tal razón se pretende realizar la valoración de Materia Seca, Proteína Cruda, Fibra Detergente Neutra, Fibra Detergente Ácida y digestibilidad *in vitro*; y algunos parámetros de fermentación como pH y nitrógeno amoniacal del ensilaje de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y cáscara de naranja *(Citrus sinensis)* usando estas materias primas en diferentes niveles de inclusión; para determinar que tratamiento es más indicado como suplemento nutricional alternativo para rumiantes en el trópico alto, teniendo en cuenta la calidad nutricional y parámetros de fermentación que se encontraron.

En relación con lo anterior, como hipótesis alterna se plantea que existan diferencias estadísticamente significativas de los parámetros a evaluar entre los diferentes tratamientos; mientras que la hipótesis nula será que NO exista diferencia estadísticamente significativa de los parámetros entre los tratamientos.

Ho= No hay diferencias entre los valores nutricionales de las dietas a base de yacón y cáscara de naranja a diferentes niveles de inclusión

Ha= Hay diferencias entre los valores nutricionales de las dietas a base de yacón y cáscara de naranja a diferentes niveles de inclusión

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar la calidad nutricional y algunos parámetros de fermentación de un ensilaje a base yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y cáscara de naranja *(Citrus sinensis)* en diferentes proporciones, como alternativa de suplementación para rumiantes.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la calidad nutricional (Materia Seca, Proteína Cruda, FDN, FDA y digestibilidad *in vitro*) del ensilaje de hojas de yacón y cáscara de naranja mezclados en diferentes niveles de inclusión.
- Estimar los parámetros de fermentación (pH y nitrógeno amoniacal) en el ensilaje de hojas de yacón y cáscara de naranja mezclados en diferentes niveles de inclusión.
- Determinar la relación costo-beneficio de la producción de 1 kg de ensilaje de hojas de yacón y cáscara de naranja en las diferentes mezclas.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Situación actual de la ganadería en Colombia

De acuerdo al Boletín Técnico de las Cuentas Trimestrales del Producto Interno Bruto de Colombia para el tercer trimestre del 2016, publicado el 2 de diciembre de 2016; en el tercer trimestre de 2016 el valor agregado de la rama agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca disminuyó en 1,7% frente al mismo periodo del año 2015. Además, menciona que, respecto al trimestre anterior, disminuyó en 0,2% y que el valor agregado de las actividades de animales vivos y otros productos animales bajo en un 0,3%; pero otras actividades como pesca y silvicultura crecieron en un 1,3%; *"El valor agregado para la actividad pecuaria se explica principalmente por la caída en la producción de bovinos en 11,9%, mientras que el aumento se da por la producción porcina en 11,1% y producción de huevo en un 5,1%",* según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (DANE, 2016).

Para los tres primeros trimestres del 2015, el PIB agropecuario creció 2.9%, comparado con el 2014, lo que indica un incremento de 0.1%por encima del nivel reportado un año atrás (2.8%) e inferior al total acumulado de la economía nacional que reporta un 3.0%. Según el análisis reportado por Mejía (2016), atribuye este comportamiento a un alza de la producción cafetera con un 11.5% y del sector pecuario con un 17.8% DANE (2016).

Según la Encuesta de Sacrificio de Ganado (ESAG) del (DANE) en su Boletín Técnico del 29 de febrero del 2016, menciona que durante el cuarto trimestre de 2015 se sacrificaron 1.033.217 cabezas de ganado bovino, lo que representó un crecimiento del 2,8% frente al mismo periodo de 2014. De otro lado, reporta que el

sacrificio de bovinos para exportación creció 124,0% al pasar de 11.212 cabezas en el cuarto trimestre de 2014 a 25.120 cabezas en el mismo periodo de 2015.

Otro dato interesante que se reporta para el cuarto trimestre de 2015, es el peso en pie del ganado vacuno sacrificado que fue de 431.409 toneladas, y 223.330 toneladas de carne en canal; equivalentes a un crecimiento de 3,4% en ambos casos, frente al cuarto trimestre del 2014. Finalmente, durante el año 2015 se sacrificaron 3.986.680 cabezas de ganado vacuno, 0,1 % por encima del nivel presentado durante el año 2014. DANE (2016).

En la Figura 1 se presenta el comportamiento del PIB agropecuario, comparado con el PIB total durante 10 años, comprendidos entre el año 2005 al 2015.

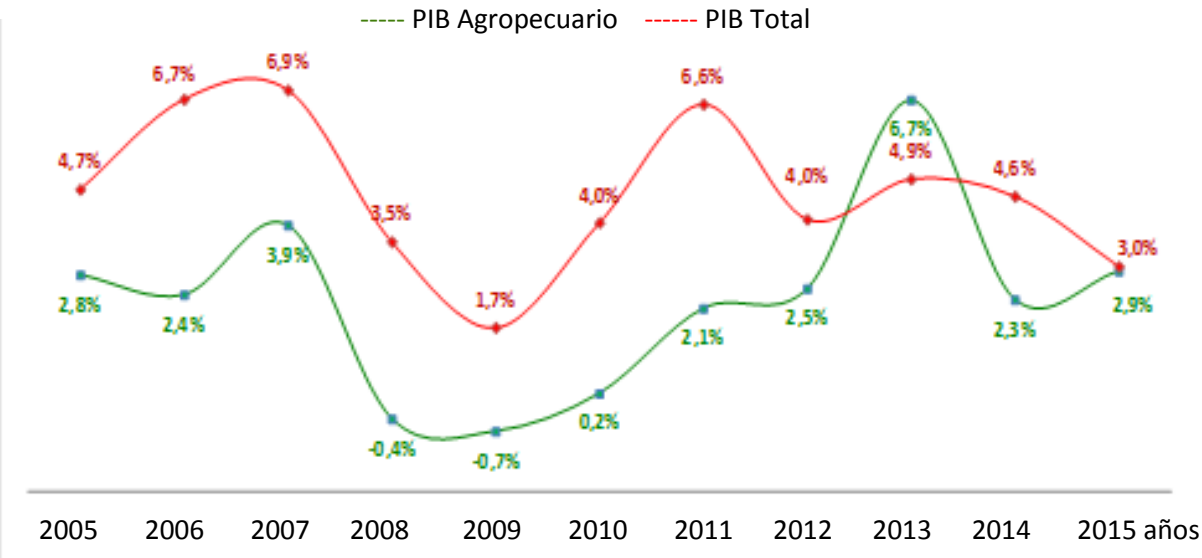

Figura 1. Tasa de crecimiento del PIB total y PIB agropecuario

Fuente. Mejia (2016), Balance y perspectivas del sector agropecuario colombiano. Balance preliminar del 2015 y perspectivas del 2016. Tomado de http://www.sac.org.co/es/estudios-economicos/balance-sector-agropecuario-colombiano/290-balance-y-perspectivas-del-sector-agropecuario-2012-2013.html

Sin embargo, para el tercer trimestre del 2016, según la ESAG del DANE, el sacrificio de bovinos fue de 877.339 cabezas con una variación de -15,1% con relación al mismo periodo de 2015, la mayor cantidad de sacrificios se registraron en Antioquia con 16,5%, Bogotá con 15,7%, Santander con 8,1%, Córdoba con 6,5% y Meta con 6,0%. (DANE, 2016).

En la figura 2 se observa la variación anual cabezas sacrificadas, peso en pie y peso en canal del III trimestre 2016/2015, en relación a las cabezas de vacuno, búfalos, porcinos, caprinos y ovinos.

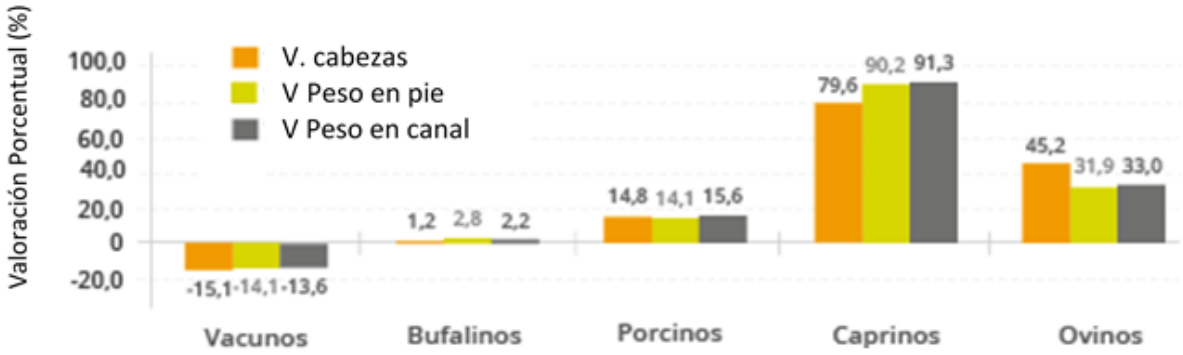

Figura 2. Variación anual cabezas sacrificadas, peso en pie y peso en canal III trimestre 2016/2015

Fuente ESAG DANE (2016) Tomado de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-de-sacrificio-de-ganado

De otro lado, según lo reportado por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA (2016), en su publicación sobre el Censo Pecuario Nacional – 2016, determina que la población bovina en Colombia se distribuye en 494.402 predios y la conforman 22´555.549 animales aproximadmente que se enceuntran ubicados en los departamentos de Antioquia (11,67%), Córdoba (8,61%), Casanare (8,18%), Meta (7,36%), Santander (6,26%) Cesar (6,02%), Caquetá (5,94%), Cundinamarca (5.57%) y Magdalena (5,35%) que agrupan el 64,96% de la población total nacional.

Por su parte, en relación a las pasturas, según la Encuesta Nacional Agropecauria del DANE, publicada el 01 de junio de 2016 menciona que el área dedicada a la actividad pecuaria en 22 departamentos objeto de estudio, fue de 30.199.949 ha, de las cuales el 69,4% correspondió a pastos y forrajes, el 23,3% a malezas y rastrojos y el restante 7,1% a vegetaciones especiales. (DANE, 2016).

3.2 El ensilaje

Silveria y Franco (2006), definen al ensilaje como una técnica de preservación de forraje que se logra por medio de una fermentación láctica espontánea bajo condiciones anaeróbicas, es un proceso natural en el cual las bacterias, por su metabolismo, crean un alto nivel de acidez, impidiendo que otros organismos la puedan descomponer. Por su parte, estos autores argumentan que el ensilaje se define como la oxidación incompleta de carbohidratos por acción de microorganismos.

Para Bernal, Cuchillo, Jiménez y Martens (2015), la conservación de forraje es un elemento importante en la producción animal de rumiantes, ya que se previene una baja productividad animal y la mortalidad de los semovientes en las épocas secas, en países de las zonas tropicales como Colombia.

Las bacterias epifíticas fermentan los carbohidratos hidrosolubles del forraje produciendo ácido láctico y en menor cantidad, ácido acético. Al generarse estos ácidos, el pH del material ensilado baja a un nivel que inhibe la presencia de microorganismos que inducen la putrefacción. (Garcés, Berrio, Ruiz, Serna y Builes 2014). Estos mismos autores argumentan que una vez que el material fresco ha sido almacenado, compactado y cubierto para excluir el aire, el proceso del ensilaje se puede dividir en cuatro etapas:

3.2.1 **Fases del ensilaje** Watiauxx (sf) menciona que el proceso de fermentación del ensilaje se realiza mediante varias fases en las que se desarrollan diferentes procesos bioquímicos que buscan la fermentación final del producto ensilado.

3.2.1.1 Fase aeróbica o de respiración: Su duración es de pocas horas, en esta, el oxígeno atmosférico contenido en el forraje disminuye rápidamente por la respiración del forraje a ensilar, ya que después de que la planta es cortada continúan consumiendo oxigeno convirtiendo el azúcar en dióxido de carbono, agua y calor. (Watiauxx, sf); esta respiración se da además por la acción de los microorganismos aeróbicos y aeróbicos facultativos (levaduras y las enterobacterias) (Weinberg y Muck, 1996).

3.2.1.2 Fase de fermentación: Inicia cuando se ha consumido el oxígeno y el ambiente es anaerobio. Su duración va desde días a semanas dependiendo de las características del forraje y el medio ambiente que permita el desarrollo de las Bacterias Acido Lácticas (BAC) hasta que sean las bacterias predominantes y de esta manera la producción de ácido láctico baje el pH a valores entre 5,0 a 3,8. (Garcés *et al,* 2004).

Conde (2009) considera que esta fase se subdivide en dos: comienzo de la acidificación e inicio de la fermentación láctica; la primera se caracteriza según Silveria y Franco (2006) porque a medida que se acaba el oxígeno hay muerte de las células vegetales y además de bacterias aerobias, desarrollándose las bacterias facultativas y posteriormente las anaerobias (lácticas, butíricas y algunas proteolíticas), además de las coli-aerogenes que pueden degradar las proteínas en amoniaco y aminas toxicas; sin embargo esta es una fase

corta por la rápida acidificación. La segunda fase se da por el inicio de la fermentación láctica que depende de las BACs, según Conde (2009) solo el 10% de la microflora epifítica de la planta está compuesta por este tipo de bacterias.

Las BAC hacen parte de la microflora epifítica de los forrajes que se estan ensilando y pertenecen a los géneros: *Lactobacillus, Pediococcus, Leuconostoc, Enterococcus, Lactococcus y Streptococcus.* La mayoría de ellos son mesófilos, (crecimiento a temperaturas entre 5° y 50 °C, con un óptimo entre 25° y 40 °C) y tienen la capacidad de disminuir el pH del ensilaje a valores entre 4 y 5, dependiendo de las especies y del tipo de forraje. (Garcés *et al,* 2004).

3.2.1.3 Producción máxima de ácido láctico y estabilización: Si el ensilaje se conserva con condiciones anaerobias no presentarán alteraciones bioquímicas indeseables; ya que se reducen y eliminan las poblaciones de microorganismos patógenos que pudieran descomponer el ensilaje; algunos microorganismos acidófilos sobreviven a este período en estado inactivo, tal como lo relaciona (Mannetje, 2000).

Conde (2009) refiere que, si el material ha sido correctamente ensilado, las tres primeras fases se realizan los tres primeros días; la fase de estabilización se desarrolla entre el 4 hasta los días 17 o 21 después de haber iniciado el proceso.

3.2.1.4 Fase de deterioro aeróbico: Esta fase da inicio en el momento de abrir el ensilaje al ser expuesto al aire, situación que en inevitable cuando se debe ofrecer la alimentación a los animales. Hoing y Woolford (1980) consideran que este periodo se divide en dos etapas: La primera relacionada con la degradación de los ácidos orgánicos que

conservan el ensilaje, la cual se da por acción de levaduras y otras bacterias que producen ácido acético, aumentando el valor del pH. La segunda es la etapa de deterioro en la cual aumenta la temperatura y con ello el desarrollo de microorganismos descomponedores del ensilaje.

3.2.2 Bioquímica del ensilaje

Para Conde (2009) la eficiencia del proceso se basa en dos conceptos: la rapidez y eficiencia con que los carbohidratos son convertidos en ácidos, prevenir el desarrollo de *Clostridium,* y la reducción rápida del pH en los tres primeros días para detener la proteólisis.

3.2.2.1 Carbohidratos: Son utilizados por los microorganismos como fuente de energía para el proceso de fermentación, están constituidos por monosacáridos (glucosa y fructosa), disacáridos (sacarosa), trisacáridos (rafinosa) y tetrasacáridos (estaquiosa). La presencia de estos carbohidratos en el forraje a ensilar es necesaria para la formación del ácido láctico el cual es indispensable para bajar el pH. La cantidad de carbohidratos fermentables depende de la especie, el estado de desarrollo de la planta y su ciclo, condiciones climáticas, fertilización, cantidad de luz solar, entre otros. (Roza, 2005).

Los carbohidratos más complejos se metabolizan a fructosa y en menor medida glucosa. Bernal *et al* (2002) argumenta que la fermentación homoláctica de las hexosas produce ácido láctico; y de otro lado de la fermentación heteroláctica se obtienen productos dependiendo del sustrato: la glucosa se produce lactato, etanol y dióxido de carbono; mientras que de la fructosa se produce lactato, acetato, CO_2 y manitol.

3.2.2.2 Sustancias Nitrogenadas: Giraldo (2014) refiere que estas sustancias se deben encontrar entre un 75% y un 90%, el otro porcentaje corresponde a nitrógeno no proteico (aminoácidos, aminas, péptidos de bajo peso molecular, clorofila y nitratos). Por su parte, Bernal *et al* (2002) indica que en algunos casos las sustancias nitrogenadas pueden encontrarse casi en un 50% en forma no proteica.

Bernal, Chaverra, Arciniegas, Acevedeo y Angel (2002) consideran importante el proceso de proteólisis que se inicia en el momento del corte del forraje y convierte un 20-25% del nitrógeno en nitrógeno no proteico dentro de las primeras 12 y 24 horas, esta proteólisis continua durante el proceso de fermentación, pero es inversamente proporcional a la disminución del pH, es decir que entre más rápido se acidifique el ensilaje, habrá una mejor conservación de la proteína del forraje.

Roza (2005) argumenta que el contenido de nitratos está directamente relacionado con el nivel de fertilización del suelo. Los nitratos ejercen su influencia en el ensilado de tres maneras según lo describe Woolford (1984): a) Los nitratos y los azúcares fermentables, se correlacionan negativamente; b) Durante el ensilado los nitratos se reducen a nitritos y éstos inhiben la formación de ácido butírico; c) La reducción de nitratos incrementa el pH.

3.2.2.3 Ácidos Orgánicos**:** Debido a la capacidad amortiguadora de los forrajes (es decir, su capacidad para resistirse a cambios en el pH) se afecta la eficiencia del proceso de ensilaje. Los principales compuestos con esta capacidad son los ortofosfatos, sulfatos, nitratos y cloruros. Dependiendo de la especie, la concentración de estos ácidos varía, haciendo más fácil ensilar algunas variedades de gramíneas, y dificultando un poco el proceso con leguminosas, tanto por su bajo contenido de carbohidratos como por su alta capacidad amortiguadora (Bernal *et al* 2002). La capacidad amortiguadora o tampón, depende además de la composición de la planta en relación al porcentaje de

proteína, iones inorgánicos (Ca, K, Na) y la combinación de ácidos orgánicos. (Mier, 2009).

Según Nuñez (2014), los ácidos orgánicos como el propiónico, benzóico y sórbico tienen una fuerte actividad antimicótica, fundamentada en su habilidad de pasar la membrana celular en forma no disociada y liberar hidrógeno en el citoplasma, produciendo una reducción del pH en el citoplasma, obligando a la célula a utilizar su energía para mantener la homeóstasis y obligándola a que reduzca o detenga su crecimiento, y estos pueden ser usados para incrementar la estabilidad aeróbica del ensilado

3.2.2.4 Vitaminas: Según lo referenciado por Bernal *et al* (2002), dependiendo de la calidad del ensilaje se puede destruir entre un 30% y un 100% del β caroteno por acción de la temperatura o de su propia oxidación; esta pérdida está relacionada con la adición de ácidos minerales o con la presencia de aire en el ensilaje que permite la oxidación, las mayores pérdidas se dan entre los 30°C y los 40°C a pH de 3.7 a 4.2.

3.2.2.5 Nitrógeno Amoniacal: Según Wattiaux (sf) es producido durante la fermentación de los ensilajes debido a la acción proteolítica de microorganismos del género *Clostridium y Enterobacter*. El contenido del nitrógeno amoniacal de los ensilajes se expresa como porcentaje del nitrógeno total y se correlaciona negativamente con el consumo voluntario.

Para Conde (2009) además de la reducción el consumo, estos ensilajes se caracterizan por una baja eficiencia de utilización de proteína en el rumen, por el rompimiento de las proteínas en aminoácidos y otros compuestos nitrogenados y por la trasformación de carbohidratos solubles en ácidos; de tal forma que al suministrar el ensilaje hay una alta producción de amoniaco, pero poca cantidad de carbohidratos limitando la síntesis de proteína microbial.

3.2.3 Formación de sustancias tóxicas

Pueden ser propias del forraje o formarse antes o durante el proceso de ensilaje. Según Bernal *et al* (2002) la presencia de nitratos en el forraje produce la liberación de dióxido de nitrógeno. Además, reporta la formación de nitrosaminas que tienen propiedades cancerígenas y de sustancias estrogénicas, que afectan la fertilidad de los animales. Además, aclara que el proceso de ensilaje no descompone ni disminuye la toxicidad de agroquímicos presentes en el material.

***Micotoxinas*:** Bernal, Chaverra, Arciniegas, Acevedeo y Angel (2002) mencionan en su documento que la micotoxinas son producidas principalmente por hongos y abundan en los ensilajes expuestos al aire, pueden resultar tóxicas para animales y humanos cuando se consumen en porciones significativas. Argumentan que en general, los rumiantes desactivan las micotoxinas (al contrario que los monogástricos), pero su concentración puede superar la capacidad de absorción del animal. Dentro de las principales micotoxinas, estos autores refieren a las fumonisinas y las aflatoxinas. De otro lado, hacen referencia a que las micotoxinas además de su efecto patógeno afecta la palatabilidad del ensilaje; menciona que se pueden utilizar algunos aditivos que se asocien a las micotoxinas e impidan su absorción por parte de los animales, tales como minerales (bentonina o arcillas blanqueadoras), fibras orgánicas o polímeros orgánicos siendo estos últimos los más eficientes.

3.2.4. Parámetros de fermentación del ensilaje

Según Bernal *et al* (2002) el tipo de fermentación depende de varias variables: el porcentaje de humedad del forraje, la cantidad de carbohidratos solubles y la capacidad amortiguadora de las plantas usadas. Esta fermentación es principalmente de tipo láctico por las BAC presentes en el forraje a partir de los carbohidratos que estos contengan, por lo cual las gramíneas poseen mayor

concentración de carbohidratos que las leguminosas. Además, argumenta que los forrajes húmedos que tengan bajas concentraciones de carbohidratos pueden presentar una fermentación secundaria por *Clostridium*, fermentando el ácido láctico a butírico y degradando las proteínas en amonio, situación que se corrige fomentando el desarrollo de BAC en el ensilaje.

En la tabla No 1 se comparan algunos parámetros de fermentación de un ensilaje de buena calidad con los parámetros de un ensilaje de mala calidad.

Tabla 1 Parámetros de fermentación del ensilaje

PARÁMETROS	ENSILAJE DE BUENA CALIDAD	ENSILAJE DE MALA CALIDAD
pH	4.0	5.5
Ácido láctico (% MS)	8.5	1.1
Ácido acético (% MS)	1.5	3.0
Acido butírico (% MS)	-	3.5
Nitrógeno amoniacal (%MS)	1.0	4.0
Color	Verde amarillento	Negro
Olor	Agradable	Pútrido
Apariencia	Ausencia de hongos	Presencia de hongos
Humedad	70%	>70% - < 60%
sabor	Apetecible al ganado	Rechazado por el ganado

FUENTE. Bernal *et al* (2002) Ensilaje, Heno y Henolaje. (1a. ed) Bogota, Colombia: Angel Comunicaciones.

Según Bernal *et al* (2015), las gramíneas y leguminosas tropicales algunas veces son difíciles de ensilar por su bajo contenido de carbohidratos y alta capacidad buffer, además la deficiencia de bacterias acido lácticas epifitas (en número y especies) pueden ser una limitación; para su ensilaje se usan los aditivos para promover la fermentación, prevenir la formación de ácido butírico, reducir la perdida de materia seca y preservar los nutrientes.

Para Conde (2009) la actividad del agua es un factor muy importante porque determina el tipo de fermentación durante todo el proceso del ensilaje, tiene efectos sobre la producción animal ya que determina la calidad del ensilaje y el consumo por parte del animal. De otro lado el agua es más determinante que el pH para el desarrollo de los *Clostridium.* Por lo tanto, el pH debe ser mucho menor a 4.5 para estabilizar un ensilaje de materiales húmedos.

De otra parte, según Guerrero (2013), el nitrógeno amoniacal un indicador de la calidad de preservación del material. El nivel de nitrógeno amoniacal N-NH3 se relaciona inversamente con la concentración de carbohidratos solubles de la planta original. Es decir, las leguminosas forrajeras y las gramíneas en estados tempranos de desarrollo, con bajos contenidos de azúcares y alto contenido de proteína producen, al ensilarse, una cantidad de ácido insuficiente para evitar el desarrollo de clostridios responsables de fermentaciones secundarias que transforman el ácido láctico en butírico y degradan proteínas y aminoácidos, especialmente bajo condiciones de pH alto aumentando el nivel de N-NH3. El valor óptimo de N-NH3 que requiere un ensilaje agradable y catalogado con muy buenas características es una concentración menor a 7%.

Otro factor muy importante a tener en cuenta en el desarrollo del proceso del ensilaje es el valor del pH que según lo reportado por Guerrero (2013), el pH es un indicador de vital relevancia en el proceso de conservación de un forraje en forma de ensilaje, debido a que es una de las transformaciones más radicales que ocurre en el forraje y por su estrecha relación con los procesos degradativos durante la conservación. Es un parámetro rápido e indicativo del tipo de fermentación que tuvo lugar. Es necesario que el descenso del pH ocurra lo más pronto posible para garantizar un hábitat desfavorable para las bacterias clostrídicas y reducir la respiración evitando así la proteólisis y la proliferación de los microorganismos indeseables en el proceso. Estudios realizados por Guerrero (2013) muestran que el valor óptimo de pH está directamente relacionado con el contenido de materia

seca (MS) del ensilado, en ensilados con contenidos de 40% de MS un pH óptimo será ≤4,87 El valor de pH está en función de la materia seca del ensilaje y de la proporción que exista entre las proteínas y los carbohidratos solubles, se considera que cuando un ensilaje alcanza valores de pH inferiores a 4.2 se ha logrado su estabilidad fermentativa.

3.2.4.1 Fermentaciones secundarias

Martinez *et al* (2014) las define como procesos bacterianos no deseables que se deben controlar; se refiere a:

- ***Fermentación butírica*** dada por los *Clostridium*. Se desarrollan entre 20-40ºC, en competencia con las bacterias lácticas, pero necesitan un pH superior a 4. Algunas especies (proteolíticas) degradan el nitrógeno proteíco hasta ácido butírico y amoníaco. Otras (sacarolíticas), degradan los azúcares y el ácido láctico a ácido butírico, además de acético, propiónico, etanol, butanol y otros metabolitos en menor cantidad. El amoníaco producido, tiende a elevar el pH en el silo. Esto favorece la proliferación de especies del género *Bacillus*, que generan aún más amoníaco. Estos gérmenes butíricos se encuentran en la tierra y en el estiércol. La producción de algunas aminas, como la putrescina y la cadaverina, puede originar toxicidad en el ensilado y causar enfermedades a los animales o incluso la muerte. (Martinez *et al,* 2014).

- ***Fermentación alcohólica*** Martinez *et al* (2014) menciona que se da por levaduras, con producción de etanol y otros alcoholes, además que afecta poco al proceso de ensilado, pero altera su conservación. Estos autores argumentan que cuando se ensilan subproductos de frutas (pulpa de cítricos, orujo de manzana, etc.), se produce una excesiva formación de alcoholes, tóxicos para el ganado.

3.2.5. Características físicas y organolépticas

De acuerdo a lo reportado por Maza *et al* (2011) la calidad del ensilaje está dada por la eficacia del proceso de fermentación y se relaciona con factores que pueden ser evaluados como su apariencia, color, olor, textura, valor nutritivo y aceptación de los animales, variables que fueron determinadas en su estudio para maralfalfa y yuca.

Bernal *et al* (2002) mencionan que el color, el olor y la textura son índices del tipo de fermentación y del valor nutritivo; de tal manera que un color castaño-amarillento indica una fermentación láctica, de olor no muy fuerte y agradable. Un color verde oliva indica que el proceso se realizó a una temperatura muy baja, realizándose una fermentación butírica de malas características organolépticas; los olores fuertes debido a la presencia de ácido butírico y amonio, indican perdidas de valor nutritivo, y se dan por baja humedad o deficiente compactación en el ensilaje. Considera además que un color castaño-tabaco es característico de fermentación a altas temperaturas, con producción de ácido acético, en este caso la palatabilidad es superior al ensilaje láctico, pero de inferior calidad nutritiva y puede transmitir un olor desagradable a la leche.

En la tabla No 2 se describen las características organolépticas de un ensilaje, de acuerdo al olor, color y textura que presenten los ensilajes.

Tabla 2 Características organolépticas de un ensilaje

INDICADOR	EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA
COLOR	Verde aceituna o amarillo oscuro	Verde amarillento. Tallos con tonalidad más pálida que las hojas	Verde oscuro	Marrón oscuro, casi negro o negro
OLOR	A miel azucarado de fruta madura	Agradable con ligero olor a	Fuerte, acido olor a vinagre,(ácido	Desagradable a mantequilla

		vinagre	butírico)	rancia
TEXTURA	Conserva sus contornos continuos	Igual al anterior	Se separan fácilmente las hojas de los tallos tienden a ser transparentes y los vasos venosos muy amarillos	No se observa diferencia entre tallos y hojas: Es más amorfa y jabonosa. Al tacto es húmeda y brillante

Fuente Maza et al (2011) Evaluación química y organoléptica del ensilaje de maralfalfa *(Pennisetum sp.)* más yuca fresca (*Manihot esculenta)*

3.2.6 Consideraciones para un buen ensilado

De acuerdo al documento de Dumont, (sf) las consideraciones que se deben tener en el momento de la realización del ensilaje son:

3.2.6.1 ***Rapidez del Proceso:*** La elaboración de un ensilaje en su silo deberá durar como máximo tres días. Esto para que la exposición al aire del forraje sea la menor posible y la fermentación se haga de manera adecuada, fomentando la presencia de microorganismos de buena calidad. Para Noguer y Valles (1977) cuando el llenado del silo no se hace de manera rápida, entre las capas de forrajes la respiración será excesiva y se favorecen fermentaciones no deseadas.

3.2.6.2 ***Compactación del forraje:*** Las buenas fermentaciones se consiguen en condiciones anaerobias por ello se hace necesaria la compactación del forraje a medida que se va cosechando y ensilando; se debe cubrir el silo con plástico y aplicar peso sobre este para sacar el aire que pudiera haber quedado contenido que podría descomponer el forraje. Se recomienda mantener herméticamente sellado el ensilaje durante el almacenamiento, para que no haya contacto entre el aire y el forraje ensilado. Para Bentancourt y Caraballo (2005) la compactación puede hacerse de dos maneras empleando maquinaria por golpe acoplando un martillo a la cosechadora; o por compresión pasando los tallos por rodillos que rompen la célula vegetal y extraen gran proporción de agua.

3.2.6.3 ***Premarchitamiento:*** Se refiere a cortar el forraje y dejarlo en oreo para que se deshidrate parcialmente entre 6 y 8 horas. Las ventajas son: pérdida parcial de agua, se minimiza la cantidad de lixiviados que pueden arrastrar con ellos algunos nutrientes, se mejoran las condiciones para la fermentación, hay mayor consumo del ensilaje por parte de los animales y por ende aumenta la producción. A este respecto, Noguer y Valles (1977) lo definen incluyendo el término de "Prehenificado o Haylage" y lo describen como una técnica entre el henificado y el ensilado; y se refiere a ensilar con un 40% a 60% de materia seca; se emplea maquinaria y silos especiales.

3.2.6.4 ***Tamaño de corte:*** El tamaño de la partícula se relaciona con el consumo por parte de los animales. Dumont (sf) manifiesta que "se ha demostrado que ensilajes con 1,2 centímetros de tamaño de picado, tienen mayor consumo que uno de 7,5 cm, como consecuencia de que las partículas de mayor tamaño deben permanecer por más tiempo en el rumen, lo que atrasa la digestión". A este respecto se considera que "al momento de picar un cultivo para ensilar se presentan dos cuestiones, que en cierto modo parecen contrastantes: 1) lograr un tamaño de partículas lo suficientemente pequeño como para no dificultar el correcto compactado del ensilaje y 2) lograr un tamaño de partículas lo suficientemente grande como para proveer al animal de FDN, asegurándole una normal masticación y una adecuada rumia cuando el animal ingiere ese forraje" (Gallardo, 2003).

3.2.7 Tipos de silos

Bentancourt y Caraballo (2005), describen dos tipos de silos: los silos verticales que son llenados empleado un equipo de soplado, formando una columna de forraje; con altura de 10 a 22 metros y con capacidad de 150 a 450 toneladas; y los silos horizontales, donde los principales son:

3.2.7.1 Silo bunker: Pueden encontrarse de varios tamaños, en piso o en estructuras de paredes de concreto. Su capacidad depende del tamaño, del tipo de forraje y su porcentaje de materia seca; Evangelista y Ortega (2006) recomiendan reforzar las paredes con hierro y tratadas con productos como brea y sustancias epóxicas, para evitar la afectación por mohos y por corrosión.

3.2.7.2 Silo trinchera: Este tipo de silo puede tener las paredes y el piso de tierra lo que lo hace muy económico. Tiene pérdidas en el orden del 25 al 30% de materia seca total. (Bentancourt y Caraballo, 2005).

3.2.7.3 Silo de bolsa plástica: Esta técnica se ha desarrollado desde hace varias décadas. Romagoza (1970) menciona que los primeros ensayos se realizaron en el año 1964, pero no fueron eficientes pues emplearon bolsas de polietileno y polivinilo, se ensayaron varios tipos de sacos, pero fueron muy pocos los que conservaron un buen ensilaje. Se hicieron pruebas introduciendo un saco dentro de otro, aumentando el grosor, buscando la impermeabilidad se trabajó con plástico grueso obteniendo muy buenos resultados haciendo que desde 1966 se empele esta técnica.

Para Giraldo et al (2014), el ensilaje en bolsas plásticas es una excelente alternativa por su fácil elaboración, bajos costos y requiere de poca infraestructura. Puede realizarse con cualquier tipo de forraje. Para estos autores, el paso más crítico e importante es el embolsado, se necesita que la bolsa quede herméticamente sellada y con la mínima cantidad de aire dentro de ella. Para garantizar un sello hermético, recomiendan bolsas plásticas de calibre No.3, que es un plástico grueso, buscando que no se rompa, ni permita la entrada de humedad del aire en forma de vapor. Una vez llena y compactada, se cierra y se amarra fuertemente la parte superior, se dobla el moño hacia abajo para hacer un nuevo amarre, lo que garantiza el cierre hermético.

Según Franco *et al* (2007) actualmente se utilizan bolsas plásticas opacas o negras de calibre 6-8 y de 30-40 Kg. de capacidad, y se acostumbra utilizar un costal de fique o polipropileno que cubra la bolsa. Menciona que el almacenamiento de las bolsas debe hacerse en un lugar protegido de animales especialmente de roedores, que son los responsables de la pérdida el ensilaje. Es ideal para pequeñas cantidades de forrajes de alta calidad; la inversión inicial es baja, y su producción es más barata que la del ensilaje convencional, no se requiere de maquinaria.

3.3 Yacón (*Smallathus sonchifolius)*

Zardini (1991) en su trabajo de etnobotanica del yacón lo describe como un tubérculo andino de origen prehispánico que se cultiva en las laderas de Los Andes, desde Ecuador hasta el noroeste argentino, es una planta perenne de 1,5 a 3 metros de altura. El sistema radicular está compuesto de entre 6 a 14 raíces carnosas y reservantes (raíces de plantas que en algunas estaciones del año tienden a perder sus órganos aéreos); además el autor hace referencia al sabor agradable y dulce de las raíces. "*Presenta hojas grandes, pubescentes en el haz y el envés, las cuales se distribuyen opuestas y alternas a lo largo del tallo. Se producen entre 13 a 16 pares de hojas grandes hasta la floriacion, despues de esta, solo produce hojas pequeñas".*

Según lo reportado por Grau y Rea (1997) la planta alcanza su madurez en 6-7 meses en sitios de media altitudes y hasta 12 meses en altitudes superiores; cultivándose entre 800 y 2.500 m.s.n.m; reportan además que esta planta se adapta a distintos tipos de suelos, pero presenta mejores comportamientos en suelos sueltos francos a franco arenosos con pH ligeramente ácidos a neutros, con buena cantidad de materia orgánica y rico en minerales. Crece bien bajo la sombra de los árboles, como también a plena exposición solar. Mencionan además que los requerimientos de agua están entre los 600 y los 1000 mm de

lluvia anuales, pero puede sobrevivir largos periodos secos, sin embargo la productividad es severamente afectada bajo estas condiciones. La abundante humedad puede conducir al daño de las raíces afectando la calidad externa.

3.3.1 Taxonomía

Para Ramos (2007) el yacón es una especie de la familia *Asteraceae* (también llamada *Compositae)* y su nombre científico es *Smallanthus sonchifolius*. En la literatura científica se ha usado también *Polymnia sonchifolia y Polimnia edulis* para referirse al yacón. Originalmente el yacón había sido clasificado dentro del género *Polymnia* (Wells, 1965). Sin embargo, algunos años más tarde se determinó que muchas de las especies del genero *Polymnia,* entre las cuales se encontraba el yacón, en realidad pertenecían al género *Smallanthus*. Las diferencias entre los dos géneros se refieren al patrón de estrías en la superficie del fruto (aquenio), la presencia de un verticilo externo de bracteas involucrales, la ausencia de glándulas en el apéndice de la antera, entre otros. En la actualidad el género *Smallanthus* es el más usado entre los taxónomos para identificar al yacón (Grau y Rea, 1997). La clasificación taxonómica del yacón se observa en la tabla No 3.

Tabla 3 Clasificación taxonómica del yacón *(Smallathus sonchifolius)*

NOMBRE CIENTÍFICO	***Smallanthus sonchifolius***
Reino	*Plantae*
Phylum	*Magnoliophyta*
Clase	*Magnoliopsida*
Orden	*Asterales*
Familia	*Asteraceae*
Genero	*Smallathus*

FUENTE: Zardini (1991) Ethnobotanical Notes on "Yacon," Polymnia sonchifolia (Asteraceae)

En relación a las características nutricionales del yacón, Lachman *et al* (2003) realizaron una revisión de varios autores que analizaban la composicion química de la raíz, las hojas y los tallos del yacón; información que se resume en la tabla No 4.

Tabla 4 Comparación de la composición química de las raíces del yacón *(Smallathus sonchifolius)*

Composición	Raíces							
	Fresco				Seco			
	Calvino (1940)	Bredemann (1948)	León (1964	Nieto (1991)	Calvino (1940)	Bredemann (1948)	León (1964)	Nieto (1991)
Agua (%)	69.50	92.70	86.6	84.80	-	-	-	-
Ceniza (%)	2.40	0.26	-	3.50	6.71	3.59	-	23.03
Proteinas (%)	2.22	0.44	0.30	3.70	7.31	6.02	2.24	24.34
Lípidos (%)	0.13	0.10	0.30	1.50	0.43	1.32	2.24	9.87
Fibra (%)	1.75	0.28	0.50	3.40	5.73	3.88	3.73	22.37
Azúcares (%)	19.67	-	-	-	67.53	-	-	-

FUENTE: Lachman *et al* (2003).. Yacon (Smallanthus sonchifolia) chemical composition and use – a review

Tal como se referencia en la tabla No 5, en relación a la biomasa aérea; los promedios obtenidos para las hojas secas fueron de: 14.2% de cenizas, 19.2% de proteinas, 5.8% de lípidos y 10.9% de fibra; mientras que para los tallos secos se obtuvo: 19.9% de cenizas, 10.6% de proteinas, 2.1% de lípidos y 25.3% de fibra.

Tabla 5 Comparación de la composición química de las hojas y tallos del yacón *(Smallathus sonchifolius)*

Composición	Hojas			Tallo			Tallo y hojas	
	Calvino (1940),		Frëek et al. (1995)	Calvino (1940),		Frëek et al. (1995)	Bredemann (1948)	
	Fresco	Seco	Seco	Fresco	Seco	Seco	Fresc	Seco

							o	
Agua (%)	83.20	-	-	86.70	-	-	92.00	-
Ceniza (%)	2.68	15.98	12.52	1.35	10.23	9.60	1.03	14.49
Proteinas (%)	2.87	17.12	21.28	1.51	11.37	9.73	1.13	15.97
Lípidos (%)	1.24	7.40	4.20	6.30	2.26	1.98	0.22	3.04
Fibra (%)	1.68	10.04	11.63	3.57	26.85	23.82	1.11	15.69
Azúcares (%)	1.44	8.58	-	1.55	11.70	-	-	-

FUENTE: Lachman *et al* (2003). Yacon (Smallanthus sonchifolia) chemical composition and use – a review

En un trabajo realizado por Ramos (2007) en la provincia de Sanid en Perú, determinó el valor nutritivo del tubérculo de tres variedades de yacón, encontrando los resultados reportados en la tabla No 6.

Tabla 6 Análisis bromatológico del tubérculo de tres variedades de yacón

VARIEDAD DE YACON	HUMEDAD	PROTEINAS	CENIZAS	CHOS	pH	EE	FB	CHOS REDUCT DIR	CHOS REDUCT TOT
Q'ello llajum	78.05	2.84	2.83	89.53	6.36	0.28	4.2	7.65	25.33
Yurac Ch'ecche	80.83	2.86	2.92	89.85	6.52	0.31	3.98	8.14	26.65
Yurac Ch'ecche	82.63	2.76	2.78	90.86	6.17	0.27	4.34	6.89	25.43

Fuente Ramos (2007) Estudio químico-bromatológico de algunas variedades de yacón (*Smallanthus sonchifolius) d*e la provincia de Sandia-Puno

Lachman *et al* (2003) argumentan que gran parte de la biomasa de la raiz del yacón esta formada por mas del 70% de agua; en la materia seca se enceuntran a los oligofructanos que estan presentes en un 70 a 80%, junto con un porcentaje de proteina de 0.3 al 3.7%. Además menciona la presencia de fructo oligo sacáridos de inulina tipo β (2→1), conocidos por sus habilidades de proteger la salud del colon. Al contener fructosa, es 70% mas dule que la sucrosa, por lo que se recomiernda el consumo de yacón a personas diabéticas porque su azucar no

es absorvida en el intestino delgado. En relación a la composicion química de la raíz, este autor refiere que por cada 100 gr de materia verde se encuentra (81,3), (13,8), (0,9), (1,0), (0,1) y (1,1) g de agua, carbohidratos, fibra, proteína, lípidos y cenizas respectivamente. Los minerales encontrados se enceuntran en 34, 34, 12, (8,4), (0,4) y (0,2) mg de potasio, fosforro, calcio, magnesio, sodio y hierro respectivamente. En cuanto a vitamias se encontraron vitaminas B1, B2, C, β caroteno y polifenoles enconcentraciones de (0,07), (0,31), (5,0), (0,13) y 203 mg, respectivamente.

Muñoz (2006) realizó una evaluación del contenido de nutrientes de yacón proveniente de cinco departamentos del Perú: Cajamarca, Junín, Huánuco, Lima y Puno; se encontró que el yacón de Lima, presentó mayor contenido de proteínas (4,52%) y cobre (1,14 mg/100g), las muestras de Huánuco tuvieron mayor contenido de magnesio (77,2 mg/100g). En cuanto los lípidos, presentan mayor contenido de grasa las muestras provenientes de Junín (0,87%), en relación al contenido de fibra, hubo diferencia estadística siendo mayor en Cajamarca (3,31%), el contenido de los demás nutrientes determinados fueron similares.

Por sus características bromatológicas el yacón se ha empleado en la alimentación de animales; según Hernández et al (2015) se le atribuyen propiedades prebióticas ya que contiene sesquiterpenos, lactonas y flavonoides. En su investigación encontraron que, pese a no haber diferencias estadisticas en relación a los parámetros productivos de los pollos, se evidenció mayor integridad de las vellosidades del tejido intestinal en los pollos de engorde alimentados con harina de yacón al 1%.

Estos resultados se relacionan con los encontrados por Choque et al (2013) quienes consideran al yacón como un aliemento funcional que aporta contenidos de fructooligosacáridos, inulina y compuestos fenólicos que promueven el crecimiento de una bífido bacteria en el colon que promueve la absorción de

minerales y como los autores lo mencionan en su documento promueven el metabolismo gastrointestinal; además juega un papel importante en la regulación del colesterol sérico. Refieren que el consumo de estos prebióticos promueve una modulación positiva del sistema inmune, estimulando resistencia a infecciones y a reacciones alérgicas.

Por su parte, Ramirez et al (2011) evaluaron el efecto de dietas con diferentes niveles de inclusión de *Sambucus nigra* y *Smallantus sonchifolius* en conejos de levante; evaluando parámetros productivos como consumo, ganancia de peso, conversión, rendimiento, calidad de la canal y digestibilidad aparente de la materia seca; concluyeron que la inclusión de *Smallantus sonchifolius* al 20% mantiene los parámetros productivos de los conejos a un bajo costo, a diferencia de lo que ocurre con *Sambucus nigra*; por ello se considera al yacón como una buena alternativa para la cunicultura.

En el 2010 se reportaron trabajos de caracterización física y química entre *Smallanthus sonchifolius, Moringa oleifera, Salix baylonica* y *Alocasia macrorrhiza*; concluyendo que estos tres forrajes tienen gran potencial para ser usado en la alimentación de rumiantes. (Bernal, 2010).

Bernal (2011) evaluó la calidad nutricional de las hojas de yacón y la moringa para determinar sus propiedades físicas como densidad, solubilidad, capacidad de retención de agua y capacidad buffer; las características químicas evaluadas fueron materia seca, proteína, FDN, FDA, extracto etéreo, nutrientes digestibles totales, energía de mantenimiento, lactación y ganancia y digestibilidad in vitro; se encontró que el yacón tiene una mayor solubilidad, mejores valores de NDT, de energías y digestibilidad que la moringa, pero menor porcentaje de FDN y FDA; se concluye que las hojas de yacón son un forraje potencial para ser usado en la alimentación de ganado; por su bajo contenido de fibra y alta digestibilidad.

Por su lado Koike et al (2010) realizaron un estudio en el que comparó los efectos del ensilaje de yacón y de *Cynodon dactylon* sobre el peso corporal, digestibilidad, características sanguíneas y valores en orina de 8 hidroxidesoxiguanosina en ovejas. Con la dieta de ensilaje de yacón no hubo diferencia entre peso corporal y digestibilidad en relación a la dieta a base de *Cynodon dactylon;* se encontraron bajas concentraciones séricas de proteínas totales, glucosa y colesterol, debido a la gran cantidad de polifenoles del yacón; además la relación albúmina/ globulina fue significativamente alta; los valores en orina de 8 hidroxidesoxiguanosina (indicativo in vivo de las propiedades antioxidantes de ingredientes alimentarios) fueron menores. Por lo anterior se concluye que el ensilaje de yacón se puede emplear exitosamente como suplemento dietario y promotor de la salud en las ovejas.

Koike et al (2009) estudiaron variedades de yacón de alto rendimiento y comparó su biomasa aérea y subterránea para la utilización como ensilaje en la alimentación animal; además se midió la actividad anti oxidante del ensilaje y sus características funcionales. Encontró altos rendimientos en los dos tipos de biomasa. Generalmente las raíces tuberosas del yacón han sido usadas como alimento; actualmente el follaje se ha empezado a utilizar como alimento, excepto algunas partes que se usan para hacer te. Empleando la biomasa aérea y residuos de raíces para ensilar, se encuentran altos porcentajes de digestibilidad (66.7%) en cerdos. La biomasa aérea fresca muestra fuerte actividad antioxidante que se mantiene en el ensilaje de 4 semanas. Estos resultados indican que la planta entera de yacón puede ser empleada como un recurso alimentario y que además aporta actividad antioxidante.

3.3.2 Producción de yacón en Colombia

Es importante mencionar que en Colombia no existe un dato oficial de la producción de yacón, y no se encontraron fuentes que documentaran este tipo de

información; sin embargo, se logró determinar un aproximado de este volumen a través del señor José Miguel Pilonieta, productor de semilla de yacón desde hace más de 15 años en Colombia. Pilonieta (2016) reporta que en la actualidad no hay más de 60 hectáreas sembradas en diferentes partes del país, indica que ha distribuido semilla a los departamentos de Boyacá hacia el municipio de Ventaquemada, Cundinamarca hacia Zipaquirá, Chía y sabana cundiboyacense, Tolima en la región el Cañón del Combeima, Santa Isabel y Marinilla, Antioquia hacia Rionegro, y también hacia el eje cafetero; pero no hay una entidad que pueda establecer exactamente la cantidad actual producida en Colombia.

Pilonieta (2016) menciona que el año pasado se perdieron casi 500 toneladas debido a la mínima demanda y aprovechamiento del producto, situación que se originó por el desconocimiento de las múltiples bondades tanto nutricionales como medicinales del yacón, y como situación agravante, en el país no se cuenta con un centro de procesamiento. Considerando esto último, para este año algunos productores implementarán un proyecto con la Embajada de Alemania para el montaje de plantas procesadoras de subproductos de yacón, pues preocupa el hecho de que la producción en Colombia tienda a desaparecer por falta de mercado, en vista de los innumerables beneficios reconocidos de este material vegetal para la salud humana y para la producción animal.

3.4 Naranja (*Citrus sinensis)*

Según Bravo (2014) la naranja es un árbol perenne, de mediano tamaño que puede llegar a alcanzar entre 6 a 13 metros de altura, produce frutos globulosos de 4 a 12 cm de diámetro; esta planta es cultivada en el trópico y en el sub trópico, presenta un buen comportamiento en una altura de 800 a 2000 m.s.n.m. De su fruto se obtiene la pulpa que contiene una buena cantidad de carbohidratos solubles, contiene entre 13 a 14 % de materia seca y puede ser utilizado como fuente alternativa para la alimentación de rumiantes.

3.4.1 Taxonomía

Según el documento de González (2014), existe un número muy importante de variedades y especies cítricas cultivadas comercialmente en los países productores de todo el mundo. Las variedades de naranja se clasifican de acuerdo al tiempo que tardan sus frutos en llegar a la madurez fisiológica, bajo una misma condición de oferta ambiental, las principales variedades de naranja dulce *(Citrus sinensis)* cultivadas en el mundo pertenecen a los tres grandes grupos. Grupo Navel, Grupo Blancas y Grupo Sanguinas. Su clasificación taxonómica se reporta en la tabla No 7.

Tabla 7 Clasificación taxonómica de la naranja *(Citrus sinensis)*

Reino	***Plantae***
División	*Magnoliophyta*
Clase	*Magnoliopsida*
Subclase	*Rosidae*
Orden	*Sapindales*
Familia	*Rutaceae*
Genero	*Citrus*

FUENTE Bravo (2014). Naranjas una alternativa de exportacion.Oficina de estudios y politicas agrarias.

En general la naranja está conformada en una gran cantidad de agua, contiene niveles moderados de proteínas y es un alimento bajo en grasas. Se le considera una buena fuente de fibra y vitamina C. Davies y Albrigo (1994) reportaron que en la naranja se encuentran también presentes pequeñas cantidades de compuestos bioactivos, tales como terpenos, ácidos fenólicos y flavonoides. La naranja es una fuente importante de ácido ascórbico, vitamina C y otros antioxidantes cuyo

consumo frecuente ayuda a prevenir enfermedades según lo reporta Morera (1999).

De acuerdo con Spreen (2001) la producción y el consumo de cítricos como fruta fresca o como producto procesado se ha incrementado en los últimos años, lo que significa que la demanda continuará creciendo; esto aunado al hecho de que los cítricos ofrecen ventajas para la salud de los consumidores que exigen alimentos seguros. Este autor además considera que mejoras de la logística del transporte ofrece al mercado productos cítricos frescos de alta calidad, durante todo el año a buenos precios para el consumidor, haciendo que la demanda mundial de productos cítricos continúe creciendo, y que las perspectivas a largo plazo para estos productores sean favorables. De acuerdo con Augusti (2003) los cítricos se cultivan en la mayor parte de las regiones tropicales y subtropicales de ambos hemisferios del planeta y son uno de los cultivos de mayor producción en el mundo.

Según Rodríguez (2012) y Bravo, (2014) la producción mundial de naranja en el 2010 fue de 63.1 millones de toneladas, siendo los mayores productores Brasil, Estados Unidos, India, China y México. En Colombia durante el año 2011, el país produjo 207.727 toneladas de naranja, provenientes de cultivos sembrados en 31.751 hectáreas con una producción de 11 Ton/h. Sin embargo Hernández (2014) calcula que en los departamento del Meta y el Casanare existen 5.500 ha cultivadas con árboles cítricos, las cuales producen cerca de 80.000 Ton/año; estimando que entre el 60 al 70 % del área plantada es de naranja, siendo Valencia la variedad predominante**.**

En el estudio realizado por Gonzalez (2014) analiza la composición química de la Naranja Valencia, y cocluye que es un alimento muy completo, con contenidos importantes de fibra, carbohidratos, minerales, vitamina C y ácidos orgánicos; tal como se observa en la Tabla No 8.

Tabla 8. Análisis nutricional de la naranja valencia

Composición química de la naranja	Valores
Calorias (Kcal)	47,64
% Agua	89.10
% Proteína	0.67
% Grasa	0.88
Fibra Dietaría (gramos)	14,12
Carbohidratos	
Glucosa (mg)	340,3
Sacarosa (mg)	788,26
Fructuosa (mg)	1252,5
Vitaminas	
Vitamina C (mg)	40,38
Minerales	
% Ceniza	3,57
Hierro (mg)	3,64
Magnesio (mg)	439,15
Zinc (mg)	1,09
Potasio (mg)	109,6
Calcio (mg)	32,82
Fósforo (mg)	17,5
Nitrógeno (mg)	10,81
Cobre (mg)	0,38
Ácidos Orgánicos	
Cítrico (mg)	2470,6
Málico (mg)	690,8
Tartárico (mg)	963,66

FUENTE: Gonzalez (2014) Identificación de Materiales de Naranja para la Agroindustria de Jugos y Concentrados de Exportación, Adaptados a las Condiciones Agroecológicas de la Zona Cafetera Central

3.4.2 Producción de cáscara de naranja en Colombia

En lo relacionado con la cáscara de naranja, Hernández (2014) argumenta que: “Para el año 2011 la producción de naranja en Colombia alcanzó las 207.727 t, lo

que corresponden a un rendimiento promedio de 11 t/ha, donde el departamento del Meta aparece como el mayor productor, con 72.413 t y un rendimiento de 13,9 t/ha, seguido por los departamentos del Valle del Cauca (60.626 t y un rendimiento de 11,4 t/ha), Antioquia (41.871 t y un rendimiento de 12,9 t/ha,) y Quindío (27.572 t y un rendimiento de 9 t/ha,)".

Para González (2014), es importante considerar que las cáscaras de naranja se han convertido en una fuente interesante en la alimentación de animales ya que es una alternativa económica y ecológicamente sustentable que ayuda a disminuir las cargas de residuos producidos por la industria y constituye una fuente económica de nutrientes para la alimentación animal. Por tal motivo la utilización en dietas para bovinos de este subproducto de cosecha como búsqueda de nuevas alternativas alimenticias constituye una muy buena opción para la alimentación de rumiantes con el fin de lograr aumentar la productividad animal por hectárea para las épocas críticas del año ya que se puede cultivar, cosechar y ensilar el material en épocas de invierno. (Martínez *et al,* 2015).

4. METODOLOGÍA

4.1 Ubicación: El trabajo de investigación se realizó en el Centro de Investigación y Capacitación San Miguel de la Universidad de la Salle, ubicado en el Alto del Vino al noroccidente de la sabana de Bogotá, en el valle del río Subachoque, a unos 25 kilómetros de Bogotá, con una altura sobre el nivel del mar de 2863 m. y una temperatura promedio de 12ºC. El alto del Vino limita al nororiente con el municipio del Rosal, al noroccidente con el municipio de San Francisco, al sur oriente con el municipio de Madrid y al sur occidente con el municipio de Facatativá. Allí se dispone de una plantación de Yacón de aproximadamente de 1 hectárea (ha) que tiene aproximadamente un año de haber sido establecida.

Figura 3. Mapa ubicación del sitio del cultivo

Fuente: Google Earth. Tomado de https://www.google.com.co/maps/@4.8963137,-74.3219753,22403m/data=!3m1!1e3

4.2 Especies vegetales para los tratamientos:

4.2.1 Yacón: El principal material vegetativo a utilizar son las hojas de yacón (*Smallanthus Sonchifolius*), es el material forrajero a emplear por su disponibilidad. Se extrajo del cultivo establecido en el Centro de Investigación y Capacitación San Miguel de la Universidad de la Salle. El yacón empleado tenía aproximadamente 1 año de establecimiento y a pesar de que fue cosechada la planta completa, se emplearon únicamente las hojas y tallos. Se seleccionó el material con mejor estado foliar. Las hojas tienen forma triangular y son acortadas; cada planta puede contener alrededor de 14 hojas según su estado vegetativo.

4.2.2 Cáscara de naranja: Es la materia prima que se empleó como fuente de carbohidratos solubles y fibra; fortaleciendo el proceso de fermentación; aprovechándolo por ser un residuo de producción de la agroindustria del jugo en Corabastos localizado en la ciudad de Bogotá.

4.3 Elaboración Del Ensilaje

El material vegetal obtenido, tanto hoja de yacón como cáscara de naranja, se sometieron a un proceso de pre oreo por un periodo de tiempo de 6 horas a temperatura ambiente con el objetivo de reducir el contenido de humedad existente en estas materias primas. Tiempo ajustado a lo reportado por Mier (2009) quien argumenta que la disminución del contenido del agua puede realizarse mediante la exposición al aire libre durante un período de tiempo (6-24 horas), pues de esta manera se logran obtener porcentajes de MS entre el 30 y 40%.

Después del proceso de pre oreo se realizó el corte de las hojas de yacón y la cáscara de naranja, este se hizo de forma manual, buscando la mayor homogeneidad posible, en partículas pequeñas de 2 cm aproximadamente para

facilitar su compactación y evitar la presencia de oxígeno en el micro silo. Esta actividad se realizó teniendo en cuenta las consideraciones de Mier (2009)
Se empacaron y compactaron en bolsas plásticas negras de microsilo calibre No7; de 1 Kg de peso cada una por cada tratamiento; además se elaboraron microsilos adicionales para hacer las pruebas de pH; el proceso de compactación se realizó de forma manual y se verificó que contuviera la menor cantidad de aire, buscando evitar la proliferación de bacterias aerobias que afectaran la calidad del ensilaje, el empaquetado se realizó de acuerdo a los tratamientos propuestos.

Finalmente se realizó el proceso de sellado hermético en cada una de las bolsas de micro silo. Cada una de las bolsas fue rotulada con su respectivo tratamiento y fecha para su posterior identificación.

A excepción de las muestras para toma de pH que se realizaron a la hora 0, hora 20, hora 28, hora 44 y hora 48; las bolsas se mantuvieron herméticamente a temperatura ambiente y alejado de la luz directa, por un tiempo de 45 días, tiempo en el que se garantiza la adecuada fermentación anaeróbica de los carbohidratos presentes en el forraje. (Maza *et al,* 2011).

4.4 Tratamientos

Los ensilajes se elaboraron empleando 6 tratamientos con 3 repeticiones para los diferentes niveles de inclusión, con un total de 18 unidades experimentales, así:

T1: 100% hoja de yacón (tratamiento control)
T2: 100% cascara de naranja (tratamiento control)
T3: 90% hoja de yacón y 10 % cascara de naranja
T4: 80% hoja de yacón y 20% cáscara de naranja
T5: 70% hoja de yacón y 30% cáscara de naranja
T6: 60% hoja de yacón y 40% cáscara de naranja

A ningún tratamiento se le adiciono aditivos, pese a que es una práctica muy recomendada por diferentes autores para mejora la calidad nutricional y la conservación del ensilaje; sin embargo, se tuvo en cuenta lo referenciado por Mier (2009) que sugiere que se puede obtener un buen ensilaje sin usar aditivos, si los forrajes han sido desecados por un corto período de tiempo, cortados adecuadamente en partículas más pequeñas, bien compactados y sellados.

4.5 Evaluación de los parámetros de fermentación de los tratamientos de ensilaje

Durante los dos primeros días se tomaron los valores de pH para medir la curva de fermentación, estas muestras fueron tomadas de los silos adicionales que se realizaron específicamente para este análisis. El pH se tomó a la hora 0, hora 20, hora 28, hora 44 y hora 48. El valor de nitrógeno amoniacal fue determinado el día 45 al igual que el pH final.

4.6 Evaluación del valor nutricional de los tratamientos de ensilaje

Finalizados los 45 días se abren los silos y se realizan las determinaciones bromatológicas, en los cuales se determina los siguientes parámetros según los objetivos establecidos: materia seca, proteína cruda, FDN, FDA y digestibilidad *in vitro*. Además, se lograron determinar parámetros adicionales y complementarios al análisis nutricional del ensilaje como el extracto etéreo, cenizas y extracto libre de nitrógeno.

Para cada proceso de determinación bromatológica, se aplicaron las siguientes metodologías de acuerdo a los Métodos Oficiales de Análisis de AOAC® Internacional (2001):

- HUMEDAD/MATERIA SECA: Método gravimétrico. Pérdida de peso de la muestra en la estufa a 110ºC hasta peso constante. (AOAC, 2001).

- PROTEÍNA: Método de Kjeldahl, factor de conversión 6,25. Digestión de proteínas con H_2SO_4 y catalizadores transformándose el nitrógeno orgánico en amoniaco que se destila y se titula con una solución ácida normalizada. (AOAC, 2001).
- GRASA: Método de Soxhlet. Extracción continúa con éter etílico. Propiedad de la grasa de solubilizarse en solventes orgánicos generándose una extracción por agotamiento. (AOAC, 2001).
- FDN y FDA: Método de Van Soest. Obtención de un residuo indigerible resistente a ácidos y álcalis diluidos en ebullición. (AOAC, 2001).
- CENIZAS: Calcinación directa a 550ºC. Destrucción y volatilización de la materia orgánica dejando como residuos óxidos y sales minerales. (AOAC, 2001).
- DIGESTIBILIDAD *in vitro*: Modificaciones del procedimiento de dos etapas de Tilley y Terry (1963) que está diseñado para obtener la digestibilidad verdadera del líquido ruminal, por determinación de los constituyentes no digeridos de las paredes celulares.

4.7 Diseño Experimental

El diseño experimental fue completamente al azar, distribuido en 6 tratamientos con 3 repeticiones para pH y además la prueba de nitrógeno amoniacal; y con 2 repeticiones para los parámetros de valoración nutricional (materia seca, proteína cruda, FDN, FDA y digestibilidad *in vitro*, extracto etéreo, cenizas, extracto libre de nitrógeno), similar al diseño establecido por Bohórquez et al (2011).

El modelo experimental es el siguiente:

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

Y_{ij}: Respuesta
μ: Promedio
T_i: Efecto del tratamiento
ε_{ij}: Error experimental

Se empleó el modelo estadístico de análisis de varianza ANOVA para hallar diferencia significativa entre tratamientos, usando la prueba de rango Post Hoc de Tukey. Los análisis de parámetros de fermentación y valoración nutricional se realizaron con el paquete estadístico SAS 9.2 del 2008.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó la calidad de los tratamientos ensilados de yacón y cáscara de naranja a diferentes niveles de inclusión; mediante la valoración de:

- Parámetros de fermentación: pH y nitrógeno amoniacal
- Valor nutricional de los ensilados
- Relación costo beneficio de la producción de un kilo de ensilaje de hojas de yacón.

5.1 Parámetros de fermentación

Se evaluó el pH y el nitrógeno amoniacal como parámetros de fermentación. A continuación se relacionan los resultados obtenidos para los parámetros de fermentación de cada tratamiento a diferentes niveles de inclusión de Yacón y cáscara de naranja.

Se analizaron los resultados obtenidos en la hora 0, hora 20, hora 28, hora 44, hora 48 y en el día 45; obteniendo los resultados descritos a continuación:

En la Figura 4 se observa el valor de pH en la hora 0, para cada uno de los tratamientos a diferentes niveles de inclusión de Yacón y cáscara de naranja. Se presentan diferencias en todos los tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

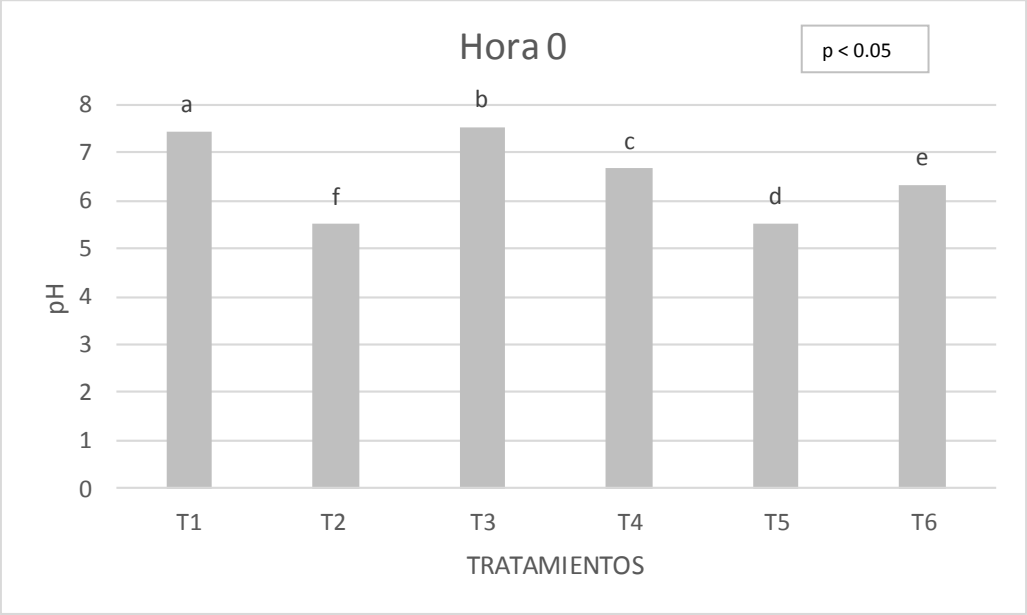

Figura 4. Valor de pH a la hora inicial de elaboración del ensilaje.

A la hora 0 se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, evidenciando un mayor valor del pH con el T1 (yacón 100%), mientras que con el T2 (naranja 100%) se obtuvo el menor valor de pH en la hora 0. En este momento se observa una tendencia a registrar un menor pH a medida que se aumenta la inclusión de naranja a excepción del T6. Este comportamiento se explica por el alto contenido de compuestos bioactivos, (terpenos, ácidos fenólicos y flavonoides) y principalmente por su alto contenido en ácido ascórbico, ácido cítrico, y otros ácidos orgánicos los cuales tiene actividad antimicrobiana contra las poblaciones patógenas que pudieran afectar la calidad del ensilaje (Ashbell y Weinberg, 2001); evidenciando una relación proporcional entre el menor pH a la hora 0 de los tratamientos a medida que aumenta el nivel de inclusión de la materia prima naranja.

En la figura 5 se observa el comportamiento del pH a la hora 20 después de iniciado el proceso de fermentación, para cada uno de los tratamientos a diferentes niveles de inclusión de Yacón y cáscara de naranja.

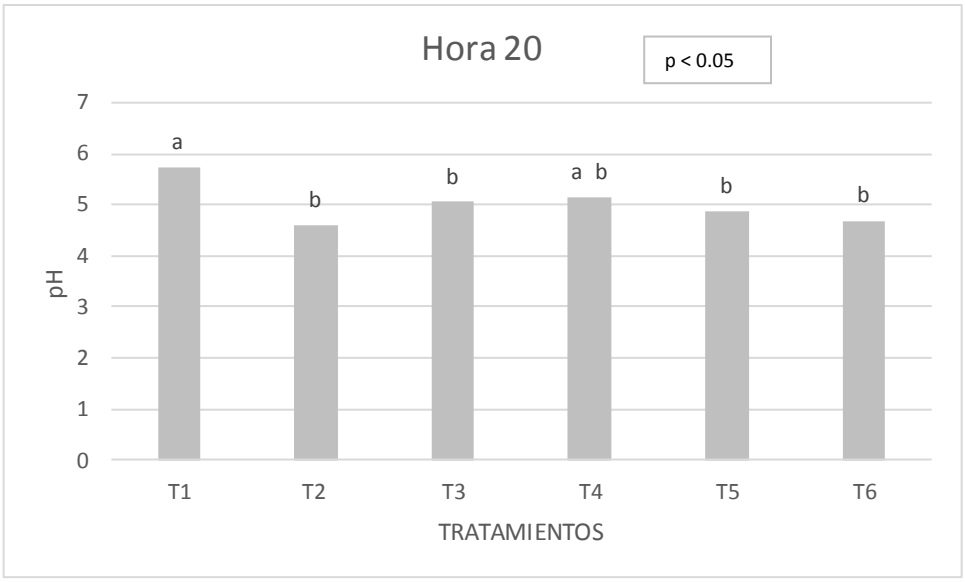

Figura 5. Valor de pH en la hora 20 para cada ensilaje.

Para la hora 20 se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, evidenciando que sigue prevaleciendo un mayor valor del pH con el T1 (Yacón 100%), mientras que en los demás tratamientos donde hay inclusión de la naranja no se encuentran diferencias significativas; sin embargo, tal como lo referencia Bernal et al (2002), el pH de todos los tratamientos ha disminuido significativamente por los procesos fermentativos que se empiezan a desarrollar al interior del ensilaje; se refleja un mejor valor del pH para la naranja y para los tratamientos que tienen mayor inclusión de este insumo.

En la figura 6 se observa el comportamiento del pH a la hora 28 después de iniciado el proceso de fermentación, para cada uno de los tratamientos a diferentes niveles de inclusión de Yacón y cáscara de naranja.

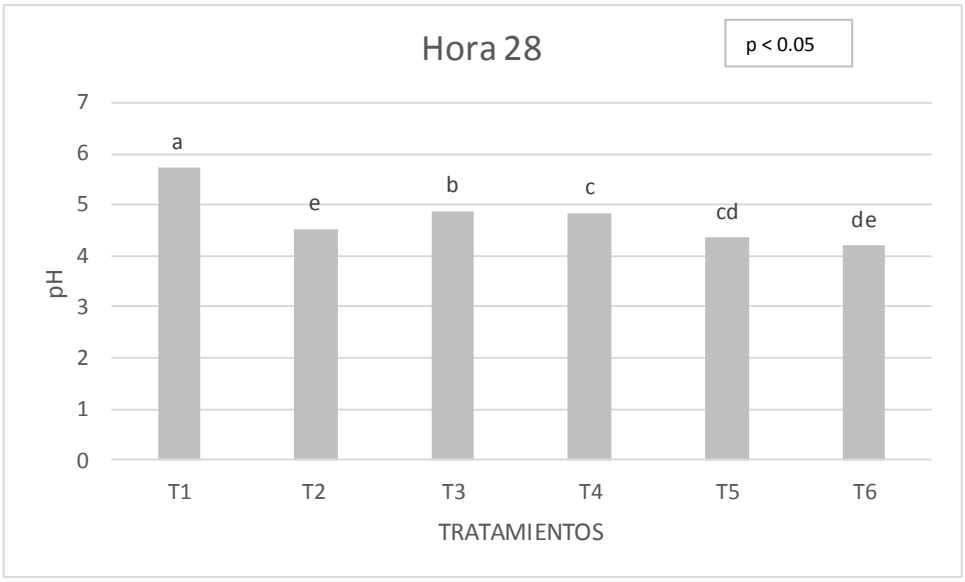

Figura 6. Valor de pH en la hora 28 para cada ensilaje

Para la hora 28 se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, evidenciando que sigue prevaleciendo un mayor valor del pH con el T1 (yacón 100%), lo que podría darse porque es el material con niveles de proteína cruda más alto, la proteína da una alta capacidad buffer a los ensilados afectando la rapidez del descenso del pH; para los otros tratamientos el pH ya se encuentra por debajo de 5, a pesar de que no se ha completado el proceso fermentativo.

Según Jiménez (2000) ensilajes con un pH de 5 se pueden considerar aceptables siempre y cuando haya una elevada cantidad de materia seca. Como se mencionó anteriormente los valores de pH bajo en los tratamientos con inclusión de naranja se explica por el alto contenido de carbohidratos soluble de la naranja, los cuales son eficientemente fermentados en ácido láctico por las bacterias ácido lácticas (BAC). Los valores bajos de pH en la hora 28 indican que se podrán esperar valores más bajos al final del proceso, pues aún no ha llegado a la fase de estabilización.

En la figura 7 se observa el comportamiento del pH a la hora 44 después de iniciado el proceso de fermentación, para cada uno de los tratamientos a diferentes niveles de inclusión de Yacón y cáscara de naranja.

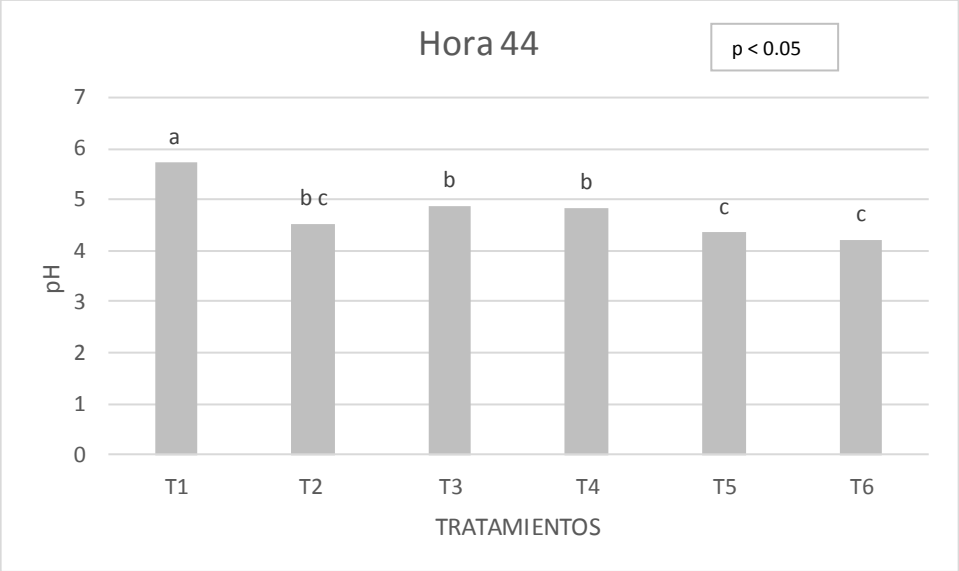

Figura 7. Valor de pH en la hora 44 para cada ensilaje

Para la hora 44 se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, evidenciando que el tratamiento 1 sigue teniendo un mayor pH en comparación con los otros tratamientos (pH mayor a 5); seguido por los tratamientos 3 y 4 con 90% y 80% de yacón (pH mayor a 4.5); mientras que los tratamientos con pH más bajos son lo del tratamiento 2, junto con los tratamientos 5 y 6 con mayor inclusión de naranja (pH menor a 4.5). En general se evidencia una disminución de pH en todos los tratamientos por la fermentación de carbohidratos a ácido láctico.

En la figura 8 se observa el comportamiento del pH a la hora 48 después de iniciado el proceso de fermentación, para cada uno de los tratamientos a diferentes niveles de inclusión de Yacón y cáscara de naranja.

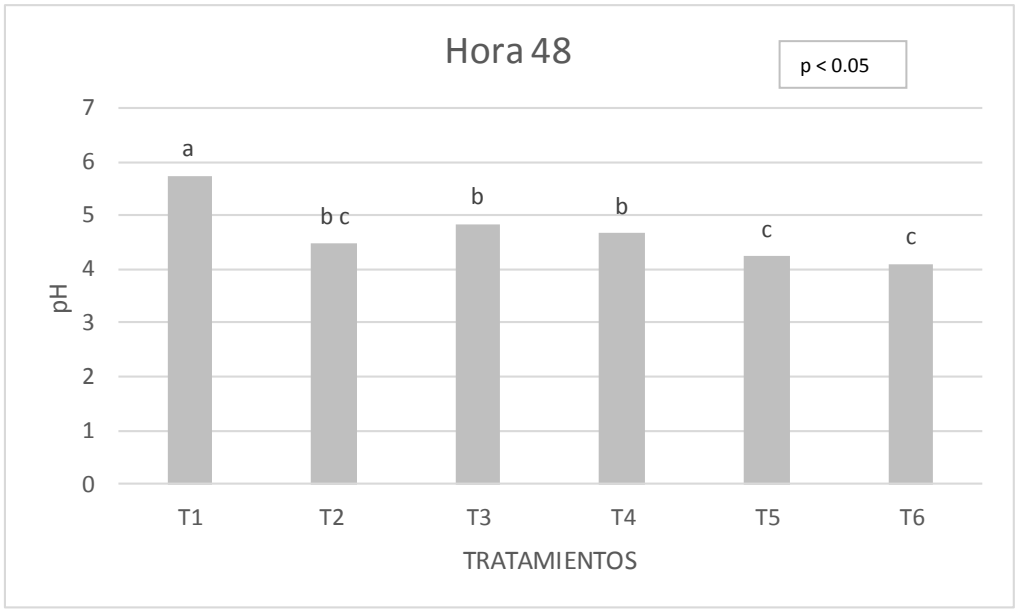

Figura 8. Valor de pH en la hora 48 para cada ensilaje

Para la hora 48 se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, evidenciando que se sigue manteniendo la misma tendencia en relación a la hora 44; sin embargo, los valores de pH para el tratamiento 1 con yacón aún no se encuentra por debajo de 5; lo cual puede afectar la degradación de las proteínas por parte de bacterias proteolíticas como *Clostridium* o *Bacillus*, afectando el valor nutricional final del ensilaje.

En la figura 9 se observa el comportamiento del pH al día 45, día final del proceso de fermentación, para cada uno de los tratamientos a diferentes niveles de inclusión de Yacón y cáscara de naranja.

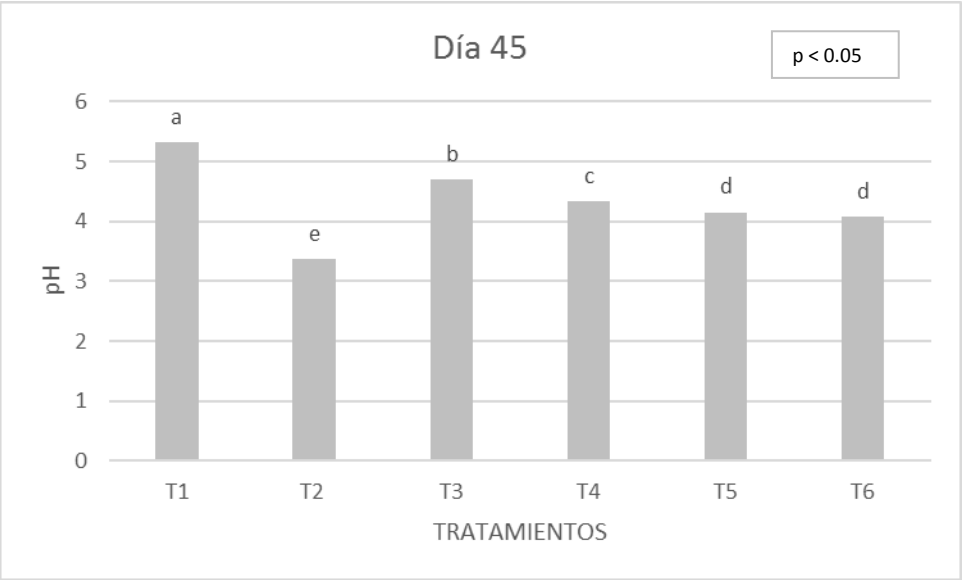

Figura 9. Valor de pH para el día 45 de cada ensilaje

Para el día 45 se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, se observa la misma tendencia que se relacionó para la hora 48, pero con una evidente reducción de pH en todos los tratamientos; sin embargo, se evidencia una marcada reducción del pH en el tratamiento 2 a base de naranja y en los tratamientos 5 y 6 en los cuales hay mayor nivel de inclusión de este insumo, por la mayor producción de ácido láctico a partir de los carbohidratos solubles que se encuentran en abundante cantidad en este producto. Por su parte el tratamiento 1 fue en el que el pH bajo menos, probablemente debido a que es el ensilaje con mayor porcentaje de proteínas y cuya capacidad buffer mantiene estable el pH; según lo reportado por los autores referenciados en el marco teórico, se recomienda un pH menor de 4 para considerar el ensilaje de excelente calidad. En relación al pH final se considera a los tratamientos 5 y 6 como los que presentan un mejor pH final.

En relación a la cinética de la fermentación, en la figura 10 se observa el pH durante los 45 días del proceso de fermentación, para cada uno de los tratamientos a diferentes niveles de inclusión de Yacón y cáscara de naranja.

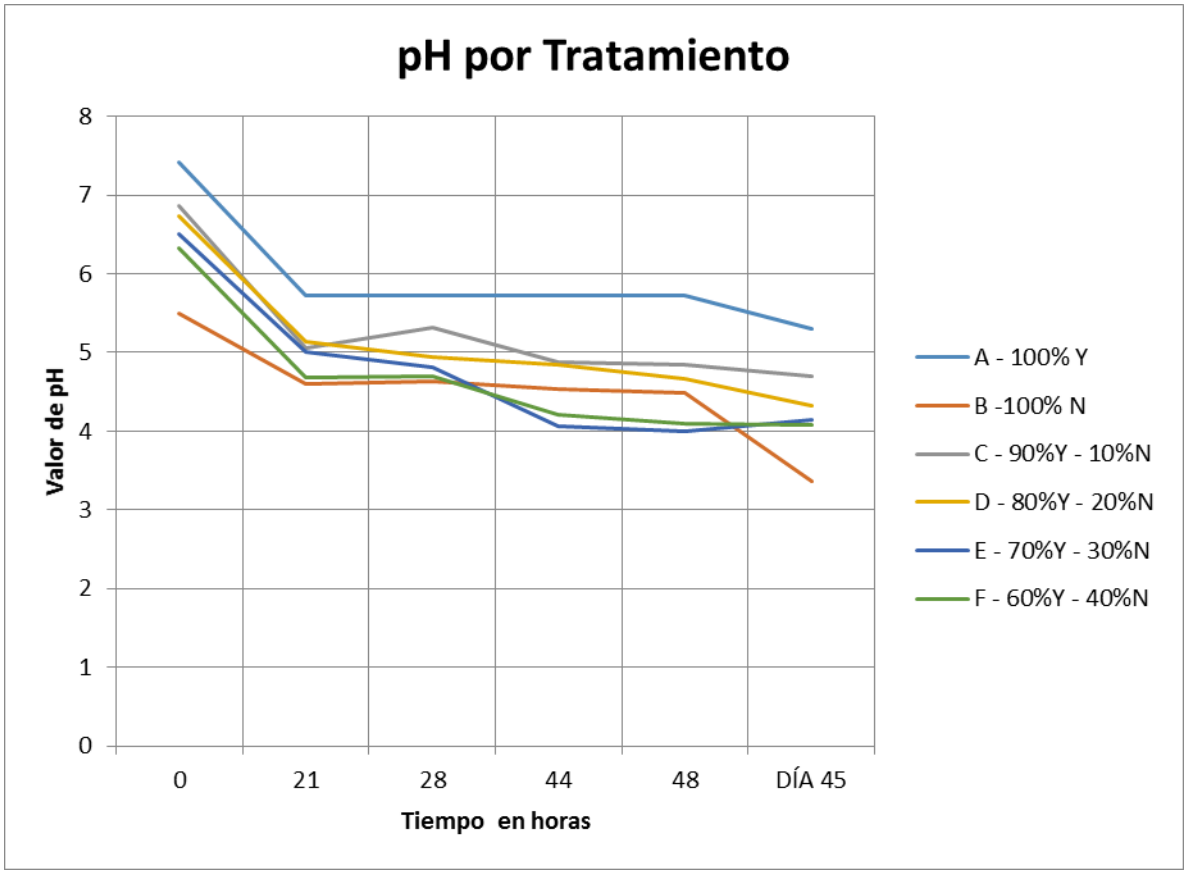

Figura 10 Cinética del pH de los diferentes tratamientos

Se evidencia que el tratamiento 2 siempre mantuvo menores valores de pH, en contraste con el tratamiento 1 que mostró los valores más altos de pH. Además refleja que el pH más bajo se relaciona con el nivel de inclusión de naranja en los tratamientos. A este respecto, Benítez y Poveda (2011) encontraron que diferentes porcentajes de inclusión de naranja no determinan el descenso del pH, y que inclusiones superiores del 30% de naranja, no presentan mayor efecto en el descenso del pH.

En la figura 10 se observa el valor del nitrógeno amoniacal al día 45, día final del proceso de fermentación, para cada uno de los tratamientos a diferentes niveles de inclusión de Yacón y cáscara de naranja.

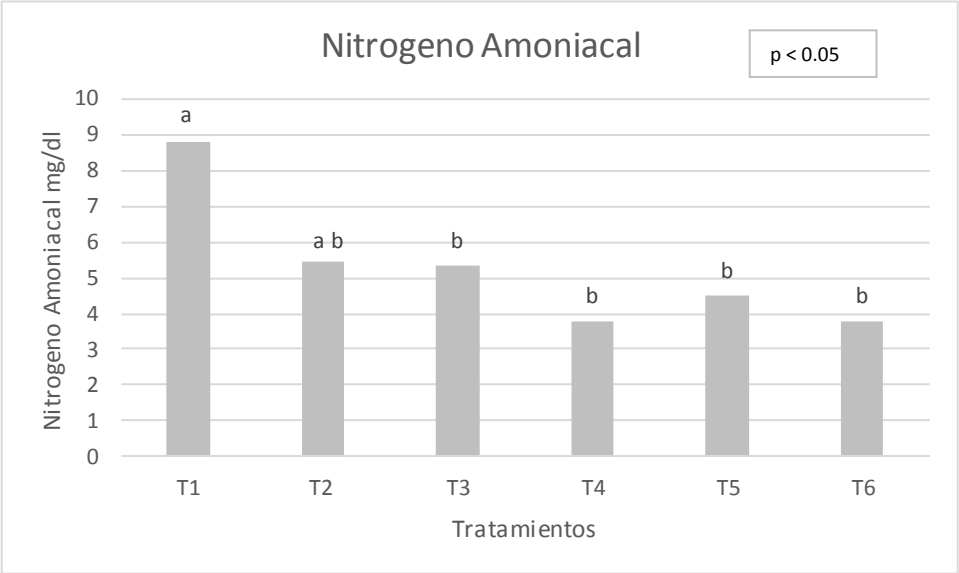

Figura 10. Nitrógeno Amoniacal para cada ensilaje

En relación al Nitrógeno Amoniacal, se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, evidenciando mayores niveles de nitrógeno amoniacal con el T1 a base de Yacón, mientras que en los demás tratamientos no se presentaron diferencias estadísticamente significativas para a este parámetro siendo sus niveles más bajos. Según Mier 2009, este parámetro considera el grado de degradación de la proteína que tuvo lugar durante el proceso de ensilado. El mayor valor en el T1 puede tener relación con el hecho que fue el tratamiento que obtuvo un nivel mayor de pH, que pudo influir en la degradación de las proteínas al no alcanzase de manera eficiente el pH adecuado que evitara su descomposición. Mier 2009 menciona además que las proteasas hidrolizan las proteínas vegetales y que este efecto disminuye a medida que el medio se acidifica, deteniéndose cuando el pH desciende por debajo de 4.

Además, como se mencionó anteriormente, bajos contenidos de carbohidratos y alto contenido de proteína, como es el caso del tratamiento 1, producen una cantidad de ácido insuficiente para evitar el desarrollo de bacterias que producen fermentaciones secundarias trasformando el ácido láctico en butírico y degradando las proteínas y aminoácidos.

5.2Valor nutricional

Para determinar el valor nutricional de los tratamientos, se consideraron las estimaciones porcentuales de materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida, cenizas, extracto libre de nitrógeno y digestibilidad in vitro; los resultados obtenidos fueron los expuestos en la Tabla 9:

Tabla 9 Valor nutricional para cada tratamiento

	T1 100%Y	T2 100%N	T3 90%Y-10%N	T4 80%Y-20%N	T5 70%Y-30%N	T6 60%Y-40%N	Probabilidad
% Materia Seca	16,39±0,13a	16,61±1,14a	16,57±0,23a	18,48±2,16a	16,58±0,82a	16,79±0,02a	**0.4487**
% Proteína Cruda	18,69±1,85a	9,36±1,19b	17,18±1,59a	17,16±1,75a	16,11±1,83a	14,51±0,41a,b	**.0083**
%Extracto Etéreo	4,38±0,03a	1,26±0,06c	4,45±0,08a	4,13±0,11a	4,66±0,22a	3,16±0,21b	**.0001**
% Fibra Detergente Neutra	34,90±0,28a	20,85±0,21d	34,25±0,21a	29,95±0,21b	29,95±0,21b	27,35±0,35c	**.0001**
% Fibra Detergente Acida	20,35±0,35a	16,20±0,14c	20,25±0,35a	18,55±0,21b	18,20±0,14b	16,95±0,21c	**.0001**
% Cenizas	15,00±0,01a	4,38±0,03e	14,23±0,18b	13,04±0,09c	11,89±0,30d	11,35±0,22d	**.0001**
%Extracto Libre de Nitrógeno	48,99±1,96c	72,75±1,63a	52,24±1,61b c	53,80±2,11b c	55,08±2,23b c	58,43±1,03b	**.0001**
%Digestibilidad *in vitro* de MS	50,60±0,14f	93,10±0,14a	54,95±0,92e	57,05±0,49d	61,60±0,14c	65,90±0,57b	**.0001**

En relación a la materia seca (MS), no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, para los seis tratamientos se evidenció que es demasiado baja, pues según Mier 2009 citando a Ashbell y Weinberg (2001), los ensilajes de buena cantidad deben contener entre el 30 al 35% de MS. Los valores inferiores pueden indicar ensilajes de bajo valor por liberación de nutrientes en los lixiviados según Alaniz (2008). Además, como se mencionó anteriormente la humedad determina el tipo de fermentación.

En este caso, pese a que se tuvo en cuenta 6 horas de oreo; por situaciones climáticas del área, el material pudo haber absorbido humedad del medio, lo que posiblemente provocó que posterior al proceso de fermentación se obtuvieran valores de MS casi del 17% con un 83% de humedad, valores de humedad demasiado altos para cualquier ensilaje.

Según Bernal et al (2002) el tipo de fermentación depende de varias variables: el porcentaje de humedad del forraje, la cantidad de carbohidratos solubles y la capacidad amortiguadora de las plantas usadas; los forrajes húmedos que tengan bajas concentraciones de carbohidratos pueden presentar una fermentación secundaria por Clostridium, fermentando el ácido láctico a butírico y degradando las proteínas en amonio, situación que se corrige fomentando el desarrollo de BAC en el ensilaje.

Sin embargo, el resultado para el T2 se asemeja a los encontrados por Bermúdez *et al* (2015) quien trabajó un ensilaje de frutos enteros de naranja con un 83,77% de humedad. Benítez y Poveda (2011) explican el aumento de la humedad de ensilajes con naranja por la capacidad de absorción de agua por el contenido de pectina, por la fermentación de los carbohidratos solubles y la respiración celular inicial de estos residuos ricos en humedad, ya que en ambos procesos se obtiene agua.

En relación a la proteína cruda, se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, evidenciando mayor porcentaje de proteína en los tratamientos T1, T3, T4, T5 por presentarse una relación directamente proporcional entre la cantidad de proteína y la inclusión de yacón en cada tratamiento, es decir, entre mayor es la inclusión de yacón, mayor es el porcentaje de proteína hallado en el tratamiento); de otro lado estos resultados presentan diferencia estadística con el T2 a base de naranja en el que se encuentra un porcentaje de proteína cruda de 9,36% ± 1,19; más alto que los resultados obtenidos por Bermúdez *et al* (2015) quien con ensilaje de frutos enteros de naranja obtuvo 8,4 % de proteína bruta.

Los resultados obtenidos fueron menores que los reportados por Lachman et al (2003) quien refiere para las hojas 19,2% de proteínas y de 10,6% de proteínas para tallos; resultados que se relacionan con lo reportado por Muñoz (2006) quien menciona que las hojas secas tienen un alto contenido de proteínas, entre un 11-17%. Lachman et al (2003) reportan para hojas, tallos y hojas/tallos frescos valores de 2.87; 1.51 y 1.13% de proteína respectivamente.

De otro lado en relación al yacón, Ramos (2007) realizó algunos estudios bromatológicos del yacón, encontrado niveles de proteína en la raíz de 2,81%; para el caso del yacón y al igual que otros tubérculos, su mayor nivel de proteína se encuentra en las hojas y tallos, con valores superiores al 18%.

Para el caso de la FDN, se encontró diferencia significativa entre los tratamientos; los mayores valores fueron alcanzados con los T1 y T3, seguidos por los T4 y T5; para este caso los menores valores de FDN fueron alcanzados por el T6 seguido del T2. LA FDN va disminuyendo a medida que disminuye la inclusión de yacón en las dietas; lo que significa que la FDN del yacón, está representada por un mayor contenido de la pared celular: celulosa, hemicelulosa, y lignina; mientras que para la naranja hay menor porcentaje de FDN o carbohidratos estructurales, debido a que la mayor proporción de carbohidratos son solubles. La estimación total de la fibra del ensilaje se relaciona inversamente con el consumo de alimento.

Para el caso de la FDA, se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, observando un comportamiento dependiente de la FDN; pues los mayores valores son de los T1 y T3, seguidos por los T4 y T5; y los menores valores de FDN fueron alcanzados por el T2 y T6. García *et al* (2016) menciona que este valor representa principalmente la celulosa y lignina; se relaciona con la fracción no digestible del ensilaje y se relaciona inversamente con la valoración del contenido energético del alimento; por su efecto en la digestibilidad. En consecuencia, al comportamiento de la FDN, la FDA también disminuye a medida que se disminuye la inclusión de yacón en la dieta.

Para el extracto etéreo se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, encontrando mayor porcentaje en los tratamientos T1, T3, T4, y T5 que tienen mayor inclusión de yacón, en comparación con el T6 con una inclusión menor de yacón y por último el T2 de solo naranja, con una marcada a diferencia estadística. Para García et al (2016) esta prueba determina todas las sustancias que son solubles en éter como los lípidos (por ello es de alto contenido energético); además esta prueba demuestra la presencia de sustancias solubles en grasas tales como la clorofila y las vitaminas liposolubles; que se encuentran en cantidades considerables en el tratamiento de yacón y en los tratamientos en lo que se ha hecho alto nivel de inclusión de este forraje.

El resultado de la naranja concuerda con lo reportado por Martínez et al (2015) quien encontró que la naranja y particularmente su cascara presenta un bajo contenido de grasa, con valores de 1,73% ± 0,17.

Para el extracto libre de nitrógeno (ELN) se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, hallando mayor porcentaje en el tratamiento T2 de solo naranja, por su alto contenido en carbohidratos; seguido del T6 en el que se encuentra una mayor inclusión de este producto. Seguidos por los valores del T3, T4 y T5 que no presentan diferencias estadísticas entre ellos. El menor valor de extracto no

nitrogenado fue para el T1 de solo yacón. Lo que significa que la inclusión de naranja a los ensilajes aporta extracto libre de nitrógeno, representado por un alto contenido de carbohidratos solubles de la naranja.

Muñoz et al (2006) argumenta que esta prueba determina principalmente el contenido de carbohidratos digeribles, así como también vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados, contenidos en la naranja; es decir que los elevados valores de ELN en la naranja se dan por su contenido de carbohidratos solubles; se determina mediante un método matemático cuyo resultado es obtenido por diferencia al restar al total 100% la suma de los cinco macronutrientes principales (proteína, fibra cruda, extracto etéreo, cenizas, humedad), dentro de este valor se incluyen los nutrientes que no han sido determinados con los otros métodos del análisis proximal.

Para las cenizas se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, evidenciando mayor porcentaje en el tratamiento T1 y el menor valor para el T2; se observa que el contenido de cenizas se comporta directamente proporcional a la inclusión de yacón. Muñoz et al (2006) menciona que las cenizas son el producto de la destrucción y volatilización de la materia orgánica dejando como residuos óxidos y sales minerales; por tal razón representan el contenido de minerales totales o material inorgánico.

En relación al T2, los hallazgos encontrados difieren significativamente de los hallazgos realizados por Martínez et al (2015) quien determinó el contenido de ceniza para la cascara de naranja en un 0,46% en base húmeda.

Para el porcentaje de digestibilidad *in vitro,* se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, hallando mayor porcentaje de digestibilidad para el T2 a base de naranja y los valores mínimos con el T1 a base de yacón; se puede observar que a medida que aumenta la inclusión de naranja en las dietas aumenta la digestibilidad in vitro; estos resultados son consecuentes con los encontrados

para FDA por su relación con la baja digestibilidad; a medida que disminuye la FDA, va aumentando la digestibilidad de los tratamientos.

Para García et al (2016) un producto de más alta digestibilidad permite al animal un mayor consumo de materia seca y un mejor desempeño productivo; por el contrario, productos de baja digestibilidad evidencian un mayor contenido en lignina, menor consumo y menor desempeño.

Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Benítez y Poveda (2011) en cerdos, encontrado que la digestibilidad de las dietas con inclusión de naranja presentó valores crecientes con la inclusión del 10 y 20 % de cáscara de naranja, con lo cual se presentaba mayor absorción de proteína y demostró que con la inclusión de naranja se obtienen productos como aminoácidos y amoniaco necesarios para la producción de microflora en el ciego del cerdo.

5.3 Análisis de Costos

Las materias primas utilizadas para la elaboración de los diferentes tratamientos fueron hojas de yacón y cáscara de naranja exclusivamente; para establecer el valor de cada tratamiento, primero se determinó el costo de producción por kilogramo de cada materia prima, tal como se muestra en la tabla No 10.

Tabla 10 Estructura de costos para el procesamiento de 2700 kg de ensilaje de hoja de yacón

Costos de recolección del material (Yacón)			
Actividad	*Cantidad*	*Valor Unitario ($)*	*Valor total ($)*
Recolección manual	1 Jornal	32.000,00	32.000,00
Costos de producción del ensilaje			
Actividad	*Cantidad*	*Valor Unitario ($)*	*Valor total ($)*
Picado	0,3 Horas máquina	5.000,00	1.700,00
Ensilado	0,14 Horas máquina	12.500,00	1.750,00

Costo bolsas	54 Bolsas	760,00	41.040,00
mano de obra	1 Jornal	32.000,00	32.000,00
		Costos totales	108.490,00

En la tabla 11 se evidencia que teniendo en cuenta que el costo de producción de 2.700 Kg de hoja de yacon, que es la cantidad de biomasa producida por una hectárea, es de $108.490; se concluye que el costo por tonelada de hoja de yacón es de $40.181,48 y por ende el kilogramo tiene un costo de $40.18.

Tabla 11 Estructura de costos para el procesamiento de 1000 kg de ensilaje de cascara de naranja

Costos de producción agropecuaria			
Costos de recolección del material (Cáscara de naranja)			
Actividad	*Distancia(km)*	*Valor Unitario ($)*	*Valor total ($)*
Transporte	5	156,00	780,00
Costos de producción del ensilaje			
Actividad	*Cantidad*	*Valor Unitario ($)*	*Valor total ($)*
Picado	0,25 Horas máquina	5000,00	1250,00
Ensilado	0,05 Horas máquina	12500,00	625,00
Costo bolsas	20 bolsas	760,00	15200,00
Mano de obra	0,25 Jornales	8000,00	8000,00
		Costos totales	25.855,00

En relación al insumo naranja, se determinó que el costo de producción de una tonelada es de $25.855; por tal razón el kilogramo tiene un costo de $25.85.

Finalmente, en la tabla 12 se establecen los costos de cada tratamiento, considerando el nivel de inclusión de cada materia prima en los tratamientos, de la siguiente manera:

Tabla 12 Análisis de costos para cada tratamiento

VARIABLES	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
Material	%	$	%	$	%	$	%	$	%	$	%	$
Hoja de yacón	100	40,18			90	36,16	80	32,14	70	28,12	60	24,1
Cáscara de naranja			100	25,86	10	2,58	20	5,17	30	7,75	40	10,34
Valor total por Kg de cada tratamiento *($)*		40,18		25,86		38,74		37,31		35,87		34,44
Valor total por Tn de cada tratamiento *($)*		40180		25860		38740		37310		35870		34440
Relación costo/beneficio		4,48		6,96		4,65		4,82		5,02		5,23

La materia prima con mas valor es para las hojas de Yacón con un valor de $40.18/Kg, y la de menor valor es la naranja con $25.86/Kg; de acuerdo al aumento en la inclusón de yacón, va aumentando el costo del tratamiento, tal como se evidencia en la figura 11 .

Figura 11. Análisis de costos para cada tratamiento

El costo de producción para 1 tonelada de ensilaje del tratamiento 5, a un nivel de inclusión de 70% hoja de yacon y 30 % cascara de naranja es de $ 35.870; teniendo en cuenta que, la relación costo beneficio está dada por el valor de la

venta de una tonelada de ensilaje expresado como el valor comercial sobre el costo de producción, para el tratamiento en mención dicha relación es de 5.01 al considerar:

Valor comercial de una tonelada de ensilaje de hoja de yacon y naranja (70/30) = $180.000

Costo de producción de una tonelada ensilaje de hoja de yacon y naranja (70/30) = $35.870

Relación costo/beneficio = 5.01

6. CONCLUSIONES

- La mejor calidad nutricional entre los diferentes tratamientos de inclusión de yacón y cáscara de naranja que fueron evaluados en la presente investigación, se obtuvieron para el tratamiento No 5, el cual presentaba 70% de inclusión de yacón y 30% de inclusión de cascara de naranja. Lo anterior considerando que en cuanto a materia seca, proteína cruda y extracto etéreo no presentó diferencias significativas con el tratamiento que mostraba un mayor valor; presentó moderados contenidos de fibra detergente neutra, fibra detergente acida, cenizas y extracto libre de nitrógeno; pero el valor más alto para porcentaje de digestibilidad *in vitro*.

- En relación a los parámetros de fermentación de los tratamientos evaluados, los datos mas favorables se obtuvieron para el tratamiento con 60% de yacón y 40% de naranja con un promedio de pH bajo de 4,8 y el menor valor de nitrógeno amoniacal con 3,78 mg/dl. Estos valores fueron seguidos por el tratamiento con 70% de yacón y 30% de naranja, que obtuvo un promedio de pH bajo de 4,78 y nitrógeno amoniacal con 4.48mg/dl no habiendo diferencia estadística entre estos dos tratamientos.

- En relación al análisis de costos, el costo de producción de un kilo de ensilaje de yacón es de $40.18/Kg, que se considera como el tratamiento más costoso; sin embargo, el costo de producción de un kilo de ensilaje de naranja es de $25.86/Kg siendo el tratamiento más económico; el valor de los demás tratamientos asciende proporcionalmente al nivel de inclusión de hojas de yacón en el ensilaje.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alaniz, O. (2008). Adición de residuo de la industria cervecera al ensilaje de maíz como alternativa de forraje para ganado. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el desarrollo Regional Durango. Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental, p. 1-35.

AOAC. (2001) International official methods of analysis. 16° edición, 5a revisión; Volumen 1: capítulo 4, p. 25-26.

Ashbell, G., Weinberg, Z.G. (2001) Ensilaje de cereales y cultivos forrajeros en el trópico. Memorias de la conferencia electrónica de la FAO sobre el ensilaje en los trópicos. Estudio FAO producción y protección vegetal 161, p. 111-119.

Augusti, M. (2003). Citricultura. 2ª edicion. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España. P.422.

Benitez, S.Y., Poveda, C.A. (2011). Evaluación nutricional de ensilajes con diferentes niveles de inclusión de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y digestibilidad in vivo como alternativa energética para alimentación de cerdos. Revista Colombiana de Ciencia Animal , Vol. 4, No. 1, p. 20-28.

Bermúdez, J.A., Melo, E.P., Estrada, J. (2015). Evaluación de ensilaje de naranja entera *(Citrus sinensis*) como alternativa de suplementación en bovinos. Artículo de Investigación. Revista de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Caldas. Vol 9 No.2, p. 38-53.

Bernal, J., Chaverra, H., Arciniegas, A., Acevedeo, G., Angel M. (2002). Ensilaje, Heno y Henolaje. 1ª edición, Editorial Angel Comunicaciones. Bogotá, Colombia.

Bernal, L. (2011). Nutritional value of *Smallanthus sonchifolius* and *Moringa oleifera* tropic forage as alternative in ruminant feeding. Journal of Dairy Science. Vol 94.

Bernal, L. (2010). Physical adn chemical characterization of forage alternatives *Smallanthus sonchifolius, Moringa oleifera, Salix baylonica and Alocasia macrorrhiza* in cattle feeding. Memories XXVI World Buiatrics Congress. , 14-18.

Bernal, L.C., Cuchillo, H.M., Jiménez, H.R., Martens, S.D. (2015). Nutritive value evaluation of sorghum-soybean ensiled with biological additives in Colombia. XVII International Silage Conference. Piracicaba, Brazil. 1-3 July 2015, p. 84-85.

Betancourt, M., Caraballo, A. (2005). Henificación y ensilaje: aspectos operativos y tecnológicos. Manual de Ganadería Doble Propósito 2005. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Zulia. p. 183 – 187.

Bohórquez, C.I., Vega, A.R., Conde, A. Bernal, L.C. (2011). Calidad nutricional de mezclas de Morera (*Morus alba*) y cascarilla de Cacao (*Theobroma Cacao)* ensiladas y su efecto en la simulación bajo el Sistema de Carbohidratos y Proteína Neta de Cornell (CNCPS) Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Vol 24 No 3. p. 466.

Bravo, J. (2014). Naranjas una alternativa de exportacion. Oficina de estudios y políticas agrarias. Ministerio de Agricultura. Chile: ODEPA.

Choque, G.T., da Silva, W.M., Maróstica.M.R., Pastore, G.M. (2013). Yacon *(Smallanthus sonchifolius*): A Functional Food. Plant Foods Human Nutrition. Springer Science. Business Media. New York. Publicado en línea el 25 de mayo de 2013.

Conde, A (2009) .Calidad nutricional de los subrpoductos agroindustriales del mango (*Manguifera inidca),* optimización de un proceso para su conservación por ensilaje y su potencial en la alimentación de rumiantes. Maestría en Diseño y Gestión de Procesos. Universidad de la Sabana, Chia, Colombia.

Davies, A., Albrigo.L.G. (1994). Citrus Crop Production Science in Horticulture. 1ra edición. Editorial CAB Internacional USA.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), (2016). Encuesta de Sacrificio de Ganado. Boletín Técnico, III trimestre de 2016 del 22 de noviembre de 2016. Disponible en ttps://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-de-sacrificio-de-ganado.

Dirección de Difusión, Mercadeo y Cultura Estadística del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2016) Boletín Técnico de Cuentas Trimestrales - Colombia Producto Interno Bruto (PIB) Tercer trimestre del 2016, 2 de diciembre. Disponible en https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_IIItrim16_oferta_demanda.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2016) Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2015. Publicada el 1 de Junio de 2016. Disponible en https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2015/boletin_ena_2015.pdf

Dumont, J.C. (s.f). Conservación de forrajes. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Remehue. Boletín Inia N°14. Disponible en http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR33841.pdf

Evangelsita, M., Ortega J.A. (2006) Mejora del proceso de ensilaje de maíz por adición de lactosuero. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Tulancingo.

FEDEGAN. (2016). Programa de Alimentación Bovina. Disponible en http://www.fedegan.org.co/programas/programa-de-alimentacion-bovina

Franco, L.H., Calero, D., Ávila P. (2007). Alternativas para la conservación de forrajes. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Proyecto Forrajes. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. ISBN: 978-958-44-1174-7.

Gallardo, M. (2003). Tecnologías para corregir y mejorar la calidad de los forrajes conservados. Circular Planteos Ganaderos. Biblioteca central. Facultad de Agronomia. Universidad de Buenos Aires. p. 51-61.

Garcés, A.M., Berrio, L., Ruiz, S., Serna, J.G., Builes (2004) Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. Revista Lasallista de Investigación. Vol 1, No 1, p. 66-71.

Garcia, A., Kalscheur, K., Tjardes,k. (2016). Interpretación del análisis del ensilaje de maíz. College of Agriculture & Biological Sciences de SDSU. Disponible en http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4002.pdf

Giraldo, G., Argel, P.J:, Burgos, C. (2014). Ensilaje de forrajeras en bolsas plásticas. TECA. Tecnologías y prácticas para pequeños productores agrarios. Organización de las Naciones Unidadas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Disponible en http://teca.fao.org/es/read/3652

González, C.A. (2014). Identificación de materiales de naranja para la agroindustria de jugos y concentrados de exportación, adaptados a las condiciones agroecológicas de la zona cafetera central. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Programa de Agronomía. Dosquebradas, Risaralda, Colombia.

Grau, A., Rea, J. (1997). Yacon *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl) H. Robinson. En M. International Plant Genetic Resourses Institute.

Guerrero, J.P. (2013) Comunidades bacterianas en ensilajes de forrajes tropicales (*Vigna unguiculata, Canavalia brasiliensis*) y batata (*Ipomoea batata)* sus mezclas, y relación con la calidad y la digestibilidad enzimática in vitro en cerdos. Tesis para optar al título de Mágister en Producción. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

Hernández, P.A., Robles, S., Bernal, L.C., (2015) Utilización de la harina de hoja de Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) en la dieta de pollos de engorde y su efecto sobre los parámetros productivos y la integridad intestinal. Revista colombiana de ciencias pecuarias. Vol 28, (Suplemento) p. 22.

Hernandez, J.D. (2014) Crecimiento y producción de naranja valencia *Citrus sinensis*, como respuesta a la aplicación de correctivos y fertilizantes. Tesis presentada como requisito para optar al título de Mágister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Hoing, H., Woolford, M. (1980). Changes in silage on exposure to air. Forage conservation in the 80s. p. 76-87.

Instituto Colombiano Agropecaurio ICA. (2016). Censo Pecuario Nacional – 2016, Censo Bovino en Colomba . Disponible en

http://www.ica.gov.co/getdoc/8232c0e5-be97-42bd-b07b-9cdbfb07fcac/Censos-2008.aspx

Jimenez, F., Moreno , J. (2000). El ensilaje una alternativa para la conservación de forrajes. CORPOICA. Bucaramanga, Colombia.

Koike, A., Pradhan, R., Murata, T., Yasuda, S., Igoshi, K., Okamoto, C., Kabata, K. (2010). Effect of yacon silage on feed digestibility, blood characteristics and amount of urinary 8-hydroxydeoxyguanosine in ewes. Japanese Society of Grassland Science. Vol 56, p. 95–100.

Koike, A., Murata, T., Matsuda, Y., Masuoka, C., Okamoto, C., Kabata, K. (2008). Cultivation and ensilage of yacon plants (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Robinson) and the function of yacon silage. Japanese Society of Grassland Science. Journal compilation. Vol 55, p. 6-10.

Lachman. J., Fernández, E.C. Orsák, M. (2003) Yacon *[Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use – a review. Plant Soil Environ. Vol 49, No 6, p. 283–290.

Maldonado, S., Luna, P., Martínez, V., Villatarco, M., Singh, J (2008) Producción y comercialización de yacon *(Smalalnthus sonchifolius)* en comunidades rurales del noroeste Argentino. Revista Agrolimentaria, Vol 26, p. 119-125.

Mannetje, L. (2000) Introducción a la Conferencia sobre el Uso del Ensilaje en el Trópico. Memorias de la Conferencia Electrónica de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación sobre el Ensilaje en los Trópicos. 1 septiembre a 15 diciembre 1999. Italia, Roma. p.1-5.

Martínez, A., Argamentería, A., De la Roza, B. (2014). Manejo de forrajes para ensilar. Editorial Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentaria (SERIDA) del Principado de Asturias, Villaviciosa, Asturias, España. Impreso por I. Gofer. ISBN: 978-84-617-3234-0.

Martínez, J., Díaz, C.F., Martínez, L. (2015). Propiedades hidrodinámicas de la fibra dietaría a partir de harina de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis)* y mango (*Mangifera indica)* . Universidad Santiago de Cali. Facultad de Ingeniería. Facultad de Ciencias Básicas. Revista Ingenium. Vol 9 No 26, p 11-19.

Mejía, R. (2016). Balance y perspectivas del sector agropecuario colombiano. Balance preliminar del 2015 y perspectivas del 2016. Sociedad de agricultores de Colombia. Disponible en http://www.sac.org.co/es/estudios-economicos/balance-sector-agropecuario-colombiano/290-balance-y-perspectivas-del-sector-agropecuario-2012-2013.html

Maza, L., Vergara, O., Paternina E. (2011). Evaluación química y organoléptica del ensilaje de maralfalfa *(Pennisetum sp.)* más yuca fresca *(Manihot esculenta)* Revista MVZ Córdoba. Vol 16 No 2, p. 2528-2537.

Mier, M.A (2009) Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero. Tesis presentada como requisito para optar al título de Master en Zootecnia y Gestión Sostenible: Ganadería ecológica e integrada. Departamento de Producción Animal. Universidad de Córdoba. Montería.

Morera, R. (1999). Cítricos valencianos para vitamina fuente de salud. Revista Vida Rural España , Vol 85,p. 26-29.

Muñoz, A.M Blanco, T., Serván, K., Alvarado, C (2006). Evaluación del contenido nutricional de yacón (*Polimnia sonchifolia)* procedente de principales zonas de producción nacional. Revista Horizonte Médico. Volumen 6, N°2. p.69-73.

Noguer, J.M., Valles, A. (1977) El ensilado y sus ventajas. Ministerio de Agricultura. Hojas Divulgatorias. Publicaciones de extensión agraria. Bravo Murillo, Madrid. p.1-16.

Nuñez, R. (2014). Cambios en la composicion química del ensilaje de maíz tratado con diferentes tipos de inóculos microbianos. Tesis para optar por el título de Médico Veterinario y Zootecnista. Universidad Autónoma de Queretaro. Mexico.

Pilonieta, J.M. (2016, 2 de marzo) Entrevista personal.

Ramírez, A., Molano, D.F., Bernal, L.C. (2011). Utilización de *Sambucus nigra y Smallanthus sonchifolius* sobre los parámetros productivos y la digestibilidad fecal aparente de la materia seca en el levante de conejos. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Vol 24 No 3. p 498.

Ramos, R. (2007). Estudio químico-bromatológico de algunas variedades de yacón (*Smallanthus sonchifolius).* De la provincia de Sandia-Puno. Tesis de grado Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Programa Cybertesis Perú. Disponible en http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/1101

Romagoza, J.A. (1970) Ensilaje en microsilos. Ministerio de Agricultura. Publicaciones de capacitacion agraria. Editorial Graficas Aragon SAS. Bravo Murillo 101. Madrid 20. Hoja Divulgatoria No 3-70H.

Rodriguez, I. V. (2012) Identificación de ácaros que afectan cultivos de naranja valencia *(Citrus sinensis*) en el núcleo sur occidental de Colombia y establecimiento de dinámica de población y fenología de algunas especies de importancia económica. Tesis presentada como requisito para optar al título de Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

Roza B. (2005) .El ensilado en zonas húmedas y sus indicadores de calidad. IV Jornada de Alimentación Animal. Laboratorio de Nutrición Animal. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario del Principado de Asturia. Mouriscade. Lalín. Pontevedra. 7 de Octubre de 2005. p1-20.

Silveria, P., Enriques A., Franco F.R. (2006). Conservación de forrajes, segunda parte. Revista electrónica de veterinaria REDVET. Vol 7 No 11 Disponible en http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111106.html

Spreen. T. (2001) Proyecciones de la producción y consumo mundial de los cítricos para el 2010. Simposio sobre Cítricos. Proyecciones FAO. China p.5-12. Disponible en http://www.fao.org/3/a-x6732s/x6732s03.pdf

Tilley, J.M. y Terry, R.A. .1963. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Journel . British Grass. Society . Vol 18. No15, p 104-111.

Vasquez, D (2015) Colombia cultiva siete millones de hectáreas. El mundo.com, publicado 3 de septiembre de 2015. Disponible en http://www.elmundo.com/portal/noticias/economia/colombia_cultiva_siete_millones_de_hectareas.php#.VzZkHNJcSko

Wattiaux, M. (sf) Introducción al proceso de ensilaje. Novedades Lácteas. Instituto Babcock. Universidad de Wisconsin. No. 502. Tomado de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/352001/ENSILAJE.pdf.

Weinberg, Z.G., Muck, R.E. (1996). New trends and opportunities in the developm ent and use of inoculants for silage. FEMS Microbiology Reviews, Vol 19,No 1, p.53–6.

Well, J.R. (1965). Taxomonic study of Polimia (compositae). Britonia. Vol 17. p144 -159.

Woolford, M. K, (1984). The silage fermentation. Microbiology Series Nº 14. Marcel Dekker Inc. 350 p

Zardini, E. (1991) Ethnobotanical Notes on "Yacon," Polymnia sonchifolia (Asteraceae). Economic Botany, Vol 45,No 1, p.72-85.