

**CALIDAD NUTRICIONAL DE LOS SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES DEL
MANGO (*Mangifera indica*), OPTIMIZACION DE UN PROCESO PARA SU
CONSERVACION POR ENSILAJE Y SU POTENCIAL EN LA ALIMENTACION DE
RUMIANTES.**

ABELARDO CONDE PULGARIN

CODIGO 200711668

UNIVERSIDAD DE LA SABANA

MAESTRIA DISEÑO Y GESTION DE PROCESOS

Chía, Noviembre 27 de 2009

**CALIDAD NUTRICIONAL DE LOS SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES DEL
MANGO (*Mangifera indica*), OPTIMIZACION DE UN PROCESO PARA SU
CONSERVACION POR ENSILAJE Y SU POTENCIAL EN LA ALIMENTACION DE
RUMIANTES.**

ABELARDO CONDE PULGARIN

CODIGO 200711668

DIRECTOR: ANGELICA PIEDAD SANDOVAL ALDANA

CODIRECTOR: CLEMENTINA CUETO VIGIL

Chía, Noviembre 27 de 2009

CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA	9
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3. META	21
2. OBJETIVOS	22
3. MARCO TEÓRICO.....	23
3.1. USO DE SUBPRODUCTOS EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.....	23
3.2. CONSERVACIÓN DE BIOMASA.....	28
3.2.1. El proceso de ensilaje.....	29
3.2.2. Factores que afectan el proceso y la calidad de los ensilajes	33
3.2.3. Microbiología del proceso de ensilaje.....	37
3.2.4. Aditivos utilizados en los ensilajes.....	42
3.3 VALORACIÓN INTEGRAL DE LA POTENCIALIDAD DE UN RECURSO ALIMENTICIO.....	49
3.3.1. Sistema de carbohidratos y proteínas de Cornell.....	51
3.3.2. Fracciones de Carbohidratos	52
3.3.3. Fracciones de Proteínas.....	53
4. MATERIALES Y METODOS.....	55
4.1. CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL DE NIVEL I	55
4.1.1. Caracterización química:.....	55
4.1.2. Caracterización Taxonómica.....	56
4.1.3. Caracterización Industrial y Socioeconómica	56
4.2. CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA (NIVEL II).....	57

4.2.1. Energía.....	57
4.2.2. Degradabilidad <i>in sacco</i> de la MS	57
4.2.3. Determinación de taninos y saponina.....	58
4.2.4. Determinación del nivel de aceptabilidad teórico. Simulación ex ante	59
4.3. EVALUACIÓN DE PROCESOS DE ENSILAJE	59
4.3.1. Ensayo 1. Bolsa de polietileno.	60
4.3.2. Ensayo 2. Microsilos de PVC	62
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
5.1. CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL (NIVEL I).....	64
5.1.1. Caracterización química.....	64
5.1.2. Caracterización Taxonómica.....	80
5.1.3. Caracterización Industrial y Socioeconómica	81
5.2. CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA (NIVEL II).....	83
5.2.1. Energía.....	83
5.2.2. Degradabilidad <i>in sacco</i> de la Materia seca.	85
5.2.3. Taninos y saponinas	89
5.2.4. Determinación del nivel de aceptabilidad teórico. Simulación ex ante.....	90
5.3. EVALUACIÓN DE PROCESOS DE ENSILAJE	93
5.3.1. Ensayo 1. Bolsas de polietileno.	93
5.3.2. Ensayo 2. Ensilajes en PVC.....	106
5.3.3. Proceso de ensilaje.....	109
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFIA.....	116
ANEXOS	123

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MEJORES PRODUCTORES DE FRUTAS TROPICALES DURANTE 2007	19
TABLA 2. INFORMACIÓN NUTRICIONAL DE LOS DOS PRINCIPALES RESIDUOS INDUSTRIALES DEL PROCESAMIENTO DEL MANGO.	25
TABLA 3. COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS EN LAS SEMILLAS DE MANGO COMPARADA CON LOS REFERENTES DE LA FAO/WHO.	27
TABLA 4. PRODUCCIÓN ACUMULADA DE GASES Y DEGRADABILIDAD DE LA MATERIA SECA DE DIFERENTES SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA DE FRUTAS EN BRASIL.	27
TABLA 5. VALORES CRÍTICOS DE ACTIVIDAD DE AGUA (A_w) Y SUS CORRESPONDIENTES VALORES DE PH REQUERIDOS PARA CONSIDERAR ESTABILIZADO UN SILO.	34
TABLA 6. COMPOSICIÓN TÍPICA DE LOS PASTOS ANTES DEL ENSILAJE Y DESPUÉS DE UNA FERMENTACIÓN CON <i>CLOSTRIDIUM</i> COMPARADA CON UNA FERMENTACIÓN LÁCTICA	36
TABLA 7. PRINCIPALES BACTERIAS ACIDO LÁCTICAS EN LOS ENSILAJES DE ACUERDO AL TIPO DE FERMENTACIÓN.....	38
TABLA 8. ESPECIES DE <i>CLOSTRIDIUM</i> EN EL ENSILAJE.....	40
TABLA 9. GÉNEROS ASOCIADOS CON EL DETERIORO AERÓBICO DE LOS ENSILAJES	42
TABLA 10. CATEGORÍAS DE ADITIVOS PARA EL ENSILAJE.	43
TABLA 11. ANÁLISIS PROXIMAL DE LA SEMILLA Y CÁSCARA EN LAS VARIEDADES TOMMY ATKINS Y KEITT.	64
TABLA 12. CARBOHIDRATOS DE ACUERDO AL MODELO CNCPS EN LOS RESIDUOS DE MANGO, CÁSCARA Y SEMILLA, DE LAS DOS VARIEDADES EVALUADAS.	69
TABLA 13. FRACCIONES DE PROTEÍNAS EN LOS RESIDUOS DE MANGO SEMILLA Y CÁSCARA EN LAS VARIEDADES TOMMY ATKINS Y KEITT.....	76
TABLA 14. RENDIMIENTOS DE PULPA, Y RESIDUO INDUSTRIAL (CÁSCARA Y SEMILLA) EN LA VARIEDAD TOMMY ATKINS	81
TABLA 15. ENERGÍA TOTAL DETERMINADA POR CALORÍMETRO Y ESTIMACIONES DE ENERGÍA DE LOS SUBPRODUCTOS DE MANGO.	84
TABLA 16. VALORES OBSERVADOS DE LA DEGRADABILIDAD <i>IN SACCO</i> DE LA MATERIA SECA (MS) EN LOS RESIDUOS DE MANGO EN LAS DOS VARIEDADES EVALUADAS.	85
TABLA 17. AJUSTE DE LAS CURVAS DE DEGRADABILIDAD CON EL MODELO DE ORSRKOV*, PARÁMETROS, Y DEGRADABILIDAD EFECTIVA DE ACUERDO A LA TASA DE PASAJE EN LOS RESIDUOS DE MANGO.	86
TABLA 18. PRESENCIA DE TANINOS Y SAPONINAS EN RESIDUOS DE MANGO, CÁSCARA Y SEMILLA EN LAS DOS VARIEDADES EVALUADAS.....	89
TABLA 19. CALIDAD NUTRITIVA PASTURA EN SISTEMA DE SOMBRA CON ALISO (10 x 5) BASE SECA	90
TABLA 20. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL LOTE DE VACAS FINCA VILLA NATALY.	91
TABLA 21. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON EL PROGRAMA CNCPS AL REALIZAR LA EVALUACIÓN EX ANTE DEL USO DE RESIDUOS EN LAS VACAS DE LA FINCA VILLA NATALY.....	92
TABLA 22. EFECTO DEL TIEMPO SOBRE LAS VARIABLES CONTROL DEL PROCESO DE ENSILAJE.....	95
TABLA 23. EFECTO DE LA CANTIDAD DE CARBOHIDRATOS SOLUBLES AÑADIDOS (MELAZA) SOBRE LAS VARIABLES CONTROL DEL PROCESO DE ENSILAJE.	102
TABLA 24. EFECTO DE LA CANTIDAD DE INOCULANTE (MICROORGANISMOS Y ENZIMAS) SOBRE LAS VARIABLES CONTROL DEL PROCESO DE ENSILAJE.	103
TABLA 25. EFECTO DEL TIEMPO Y LA INCLUSIÓN DE HARINA DE ARROZ SOBRE LAS VARIABLES MS, PH, NA, NT Y LA RELACIÓN NA/NT EN ENSAYOS CON SILOS DE PVC.	107

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Valor de la producción y producción total de frutas en Colombia respecto a otros países.	16
Figura 2. Demanda de mango y otras frutas como materia prima industrial en Colombia.	22
Figura 3. Pérdidas de materia seca en el silo en relación con el contenido de MS.	43
Figura 4. pH después de 60 días de fermentación de alfalfa con cuatro contenidos diferentes de materia seca, sin y con adición de glucosa del 7 al 12 % de la MS.	47
Figura 5. Esquema para la evaluación de ingredientes no convencionales.	52
Figura 6. Degradabilidad ajustada con el modelo de Orskov y McDonald (1979), de la cáscara y semilla, en las dos variedades evaluadas.	89
Figura 7. Efecto sobre el pH de la interacción de los factores tiempo y nivel de inclusión de melaza.	99
Figura 8. Interacción tiempo por inóculo en la variable nitrógeno amoniacal expresada en (mg/100 ml).	101
Figura 9. Efecto de los factores Tiempo e inclusión de Harina de arroz (HA), sobre el porcentaje de materia seca del ensilaje.	111
Figura 10. Flujo de proceso ensilaje de subproductos agroindustriales de mango para su conservación para uso en alimentación animal	114

RESUMEN

Los subproductos de la industrialización del mango, fueron evaluados para determinar su potencial como materia prima en la alimentación de rumiantes. Muestras de diferentes días de proceso correspondientes a semilla y cáscara de las variedades Tommy Atkins y Keitt de la empresa Frutol Ltda., localizada en el Municipio del Espinal departamento del Tolima fueron recolectadas y analizadas en su composición química (Materia seca (MS); Proteína total y sus fracciones A, B1, B2, B3 y C; residuo insoluble en etanol (RIE), FND, FDA, lignina, las fracciones de carbohidratos estructurales B2 y C y Carbohidratos no estructurales (CNS): A, B1; extracto etéreo, cenizas y energía Bruta) y la cinética de degradación ruminal aplicando la técnica y el modelo propuesto por Orskov y McDonald (1979). Se evaluó la presencia taninos y saponinas como factores antinutricionales. Se simuló la respuesta animal aplicando el Modelo de carbohidratos y proteínas netas de Cornell, CNCPS, Tylutki *et al* (2008), para determinar el potencial de estos residuos como suplemento en vacas lactantes y se evaluaron diversos factores de conservación por ensilaje para establecer un adecuado proceso. La cáscara presentó mejores características nutricionales en comparación con la semilla; principalmente por sus contenidos de CNS, en especial por la fracción de azúcares. La variedad Tommy ankins presentó mayores porcentajes de MS, CNS y menores porcentajes de FDN y lignina que la variedad Keitt. Los parámetros estimados con el modelo de Orskov identifican a la cáscara como un material de mayor degradabilidad efectiva 94% y 99 %, en comparación con la semilla 40 % y 54 % en las variedades Keitt y Tommy respectivamente. No se detectaron factores antinutricionales saponinas y taninos. En los procesos de conservación por ensilaje el principal factor a tener en cuenta son los bajos contenidos de materia seca de los subproductos agroindustriales de mango, lo cual fue mejorado con la inclusión de harina de arroz al 15 % de la mezcla antes de ensilar. Los resultados de la simulación del modelo mecanístico CNCPS predicen que la cáscara de mango puede ser un buen suplemento en vacas lactantes, por sus aportes en energía metabolizable.

ABSTRACT

Mango by-products were evaluated in order to define its potential as animal feed in ruminants. Seed and peels from Tommy Atkins and Keitt varieties in different days of industrial process of mango were collected in Fruticol Ltda, a fruit industrial company, located in Espinal Tolima Colombia and analyzed in terms of chemical composition (dry matter DM, crude protein and its fractions A, B1, B2, B3 and C, residual insoluble ethanol RIE, NDF, ADF, lignin, structural carbohydrates: B2 and C, non structural carbohydrates (NSC): A and B, extract ether, ash and gross energy) and the ruminal degradation kinetics with the methodology and model proposed by Orskov and McDonald (1979). Tannins and saponins as antinutritive factors were analyzed. The effects on animal production were simulated using the net carbohydrate and protein model, CNCPS, Tytlutki *et al* (2008), for evaluating them as a feed supplement in lactating cows. Several silage conservation factors were evaluated to establish a good anaerobic fermentation process. Peels showed better nutritional quality than seeds due to NSC, in special sugar fraction. Tommy Atkins variety had higher contents of DM, NSC and lower contents of NDF and lignin than Keitt. Higher degradability was found in peels 94 %, 99 % than in seeds 40 %, 54 % in Keitt y Tommy respectability when Orskov model parameters were estimated. Tannins and saponins were not detected. The most important factor in silage conservation in the agro-industrial byproducts evaluated was the low contents of DM which was improved with the 15 % inclusion of rice by-products in the silage. The simulation results in the mechanistic CNCPS model, predict that mango peels could be a good supplement in lactating cows because its metabolizable energy supply.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA

La ganadería representa más de tres veces el valor de la producción cafetera en Colombia (Espinal *et al.*, 2005), considerada esta última uno de los ejes de desarrollo social y económico del país. Con base en estimativos deducidos a partir del valor de la producción y de su componente valor agregado, puede decirse que participa con poco menos del 3,5% del PIB Nacional, del 26% del PIB agropecuario y del 56% del PIB pecuario. En otras palabras, la ganadería bovina, conserva la primacía dentro de la producción pecuaria y una participación muy importante dentro de la economía rural colombiana, con todo lo que ello implica en cuanto a generación de empleo y bienestar, aún a pesar del gran crecimiento de otras actividades como la avicultura (27% entre 1999 y 2003) y la porcicultura (12% entre 1990 y 2003). No en vano, la ganadería de carne bovina genera unos 950.000 empleos directos en todo el territorio nacional, esto es, la cuarta parte del total agropecuario y casi el 7% del total nacional (Fedegan, 2005).

No obstante la importancia relativa de la ganadería bovina en Colombia, este sector presenta problemas estructurales, dentro de los que se destacan, el ambiental; el cual es generado por el uso inadecuado de los recursos suelo y agua, así como la dependencia de recursos alimenticios y otros insumos externos y el desconocimiento de las potencialidades del trópico y por ello la aplicación de tecnologías no apropiadas.

Con respecto a la dependencia de recursos externos, se destaca la suplementación alimenticia de los animales, en especial el uso de alimentos concentrados, aproximadamente un 11 % del total producido en Colombia (3'800.000 toneladas) se utilizan en ganadería. A su vez, la elaboración de los alimentos concentrados en Colombia depende en gran medida de la importación de granos, principalmente de maíz (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, 2005).

De acuerdo a lo reportado por Ortega 1996, para la alimentación de los animales, incluido el manejo de pasturas y la suplementación con concentrado, representa aproximadamente el 46 % de los costos totales en sistemas de lechería especializada y el 36 % para explotaciones con sistemas de doble propósito, leche y carne. De esta forma,

la dependencia de recursos externos se hace evidente y genera problemas graves de competitividad en la cadena de producción ganadera de Colombia.

La estructura general de costos hace que los productos como la carne de bovina tengan problemas de competitividad en el mercado internacional. En países como Argentina; Brasil, el costo de referencia del novillo gordo esta alrededor de US \$ 0.60 /Kg mientras que en Colombia esta cercano US \$ 1.20 /Kg (FEDEGAN, 2005). Esta situación ante un mercado globalizado pone en graves aprietos el sector agropecuario más representativo del país.

La revolución verde promovió el uso intensivo de la tierra, y el uso de tecnologías con alta dependencia de fertilizantes e insecticidas en el sector agropecuario en Colombia y el mundo, esto ha conllevado a graves problemas de transformación de los ecosistemas naturales. La deforestación ha sido el principal mecanismo de transformación de hábitat y los ecosistemas.

En los últimos años la producción de biocombustibles: biodisel y etanol a partir de palma africana, caña y yuca se ha impulsado en gran escala en Colombia y en el mundo, con el tradicional paradigma de la revolución verde, el cual puede repetir los errores del pasado. De acuerdo con Castello, (2009) en el Informe del Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación (SOFA 2008 por sus siglas en inglés) la FAO plantea una gran preocupación sobre el incremento de la producción de biocombustibles en los países en desarrollo, que consiste en que se generaría mayor presión y competencia sobre los recursos naturales que ya son escasos, con consecuencias potencialmente negativas en materia social y medioambiental. Igualmente el representante de Colombia en la FAO ratifica que si las tierras destinadas a la producción de alimentos se utilizan o si se reemplaza la finalidad original de estas hacia la producción de biocombustibles, podría constituir un riesgo a mediano plazo para la seguridad alimentaria, implicaría un aumento en el desplazamiento de actividades agrícolas hacia tierras aún más marginales e indirectamente, propiciarían un incremento en los precios de los alimentos en dicho plazo a causa de la escasez de los mismos.

Algunas tierras destinadas a ganadería están siendo transformadas en cultivos para la industria de biocombustibles, principalmente en los llanos Orientales, lo cual plantea la necesidad de buscar alternativas de producción mas intensivas para la ganadería o de lo contrario corre el riesgo de ser desplazada a zonas "aún más marginales". Dentro de las

alternativas de mayor intensificación esta la de integrarse con los sistemas agrícolas y agroindustriales aprovechando los desechos generados por ellos.

Murgueitio (2004), destaca como uno de los principales problemas de la ganadería, la no integración a otros sistemas productivos de tal forma que se aproveche las potencialidades del trópico, como la producción de biomasa y el uso de productos y subproductos agroindustriales en la alimentación de los animales. De esta forma, el sector agrícola y la ganadería comparten espacios geográficos pero no se complementan para mejorar su competitividad y sostenibilidad.

Uno de los principales problema de la ganadería en Colombia es la estacionalidad de la producción de forrajes principalmente debida a factores ambientales, en especial al régimen de lluvias, con efectos importantes en la producción animal. El problema ha sido documentado por diferentes autores: de acuerdo a Sánchez, (2005) los sistemas de producción bovina en Colombia emplean el pastoreo de especies forrajeras para la alimentación, básicamente porque este sistema demanda menor uso de mano de obra. No obstante, la dependencia de las praderas de pastoreo tiene como desventajas los efectos de las variaciones climáticas y las condiciones químicas y físicas del suelo que ocasionan considerables reducciones en la disponibilidad y calidad nutricional del forraje; este efecto se denomina 'estacionalidad forrajera' y se presenta en las épocas secas, lo cual impacta negativamente las tasas de crecimiento animal y su producción, además de reducir la carga animal.

Cabrales *et al.*, (2007) describe el problema en la región Caribe colombiana, la cual es considerada una de las zonas ganaderas mas importantes, destacando que: "en la costa atlántica de Colombia, durante el año se presenta un periodo seco de cinco meses, lo que ocasiona altas pérdidas económicas en las empresas ganaderas por los desbalances en la alimentación de los rumiantes, debido a la poca producción de forraje y acompañado de la escasa tecnificación ganadera. La pérdida y/o la baja producción de los animales durante la sequía son de gran magnitud (20 – 40 kg. / cabeza en el periodo seco). Si la producción estimada en la costa es de unos tres millones de cabezas y todas pierden peso a causa de la falta de agua y pasto, la pérdida del producto llega a ser entre 160.000 y 320.000 t / carne al año".

El problema es transversal en todas las regiones ganaderas del país, con algunas diferencias si la estacionalidad es unimodal o bimodal; pero en general afectan los índices

de producción en los sistemas de cría, levante, ceba, lechería y doble propósito; según Cuesta *et al.*, (2005) principalmente impacta las tasas de crecimiento que afectan la edad de sacrificio de los machos y el inicio de la actividad reproductiva de las hembras, registrándose también baja natalidad y producción de leche por lactancia de las vacas en edad productiva. Igualmente señala que la implementación de estrategias adecuadas en manejo de los recursos productivos contribuirá a mejorar la eficiencia productiva y competitividad de los sistemas de producción ganadera de estas regiones.

La estrategia que plantea el presente trabajo es una mayor integración de los sistemas de producción agrícola y agroindustrial con los sistemas de producción ganadera para aprovechar los residuos de cosecha o de los procesos de industrialización con el objetivo de diseñar sistemas de suplementación que contribuyan a solucionar los problemas de la estacionalidad, para lo cual se requiere explorar diversas alternativas dentro de las cuales están los residuos de la industria de frutas y hortalizas.

De acuerdo con Rodehutschord *et al* (2002) citado por Hernandez *et al.*, (2004) dos hechos han contribuido a prestar una creciente atención por los desechos agrícolas como fuente de recursos ganaderos, el primero de ellos es el impacto que ha tenido la prohibición del uso de subproductos animales para la fabricación de alimentos para animales y su sustitución por otros de origen agrícola y el segundo el creciente valor de las producciones agrícolas lo que ha repercutido en la idea que nada debe ser desaprovechado en el sector agrario.

Dentro de los subproductos agrícolas y agroindustriales aprovechables en alimentación animal se encuentran los provenientes del sector hortofrutícola el cual por su dinámica de crecimiento agrícola e industrial, donde se destaca el mango, presenta una considerable cantidad de subproductos que deben ser aprovechados para que no se constituyan en un problema ambiental y en mayores costos para la industria manufacturera.

De acuerdo con Mejia *et al* (2004), en un estudio sobre el aprovechamiento de los residuos agroindustriales del mango realizado por la Universidad Eafit en Colombia, la utilización de materiales lignocelulósicos viene siendo investigada intensamente debido a que estos representan el mayor componente de los residuos agrícolas y agroindustriales en el mundo y constituyen una fuente abundante y segura de recursos renovables y energía. Sin embargo, actualmente en Colombia estos residuos están siendo subutilizados en la mayoría de casos, causando serios problemas de contaminación

ambiental, por su disposición final, a pesar que son potencialmente buenos como materia prima para la producción de azúcares, alimento para animales, biomasa microbiana y producción de ácidos orgánicos y alcoholes entre otros.

Igualmente los anteriores autores, presentan un estimativo de la producción de residuos de la transformación industrial del mango en la zona del Valle del Cauca resaltando los considerables volúmenes generados, al señalar que se procesan aproximadamente 351 t/semana de mango común, por parte de la agroindustria de pulpas y jugos. Solamente en el despulpado de mango se generan cerca de 50 a 55 % de residuos, aproximadamente 193.32 t/semana, representados en cáscara, semillas y restos de pulpa y fibra los cuales son de alto impacto ambiental.

Para poder realizar en el presente trabajo un estimativo de la producción de residuos en el ámbito nacional se utilizaron los reportes estadísticos más actualizados en la base de datos de la FAO correspondientes al año 2007, en donde en el contexto de la producción mundial de frutas tropicales, Colombia se encuentra en el noveno lugar, con una producción total de 474472 toneladas, (FAO, 2009a), ver figura 1. Y se calculó la producción de mango y sus subproductos de acuerdo con los índices presentados por el Ministerio de agricultura y Desarrollo rural, observatorio agrocadenas así:

Agrocadenas (2006b), considera que del total de la producción de la cadena hortofrutícola en Colombia el 46 % es transformado industrialmente; por tanto con una producción anual de frutas tropicales de 474000 toneladas, representaría un total anual de frutas procesadas de 218000 toneladas y de éstas el mango representa el 29.8 % de la demanda industrial (65000 toneladas), las cuales generan entre un 50 a 55 % de residuos, por lo que el estimado de la producción de subproductos por la transformación industrial del mango durante el año 2007 fue de 32500 toneladas.

Las agroindustrias dentro de su plan de manejo ambiental deben tener alternativas de disposición de los residuos sólidos generados por su proceso industrial los cuales aumentan los costos de producción.

La propuesta de este trabajo es evaluar como alternativa tecnológica la utilización de estos subproductos en la alimentación de rumiantes, generando un valor agregado para la agroindustria al tiempo que disminuye los costos ambientales, asociados con la disposición de dichos residuos.

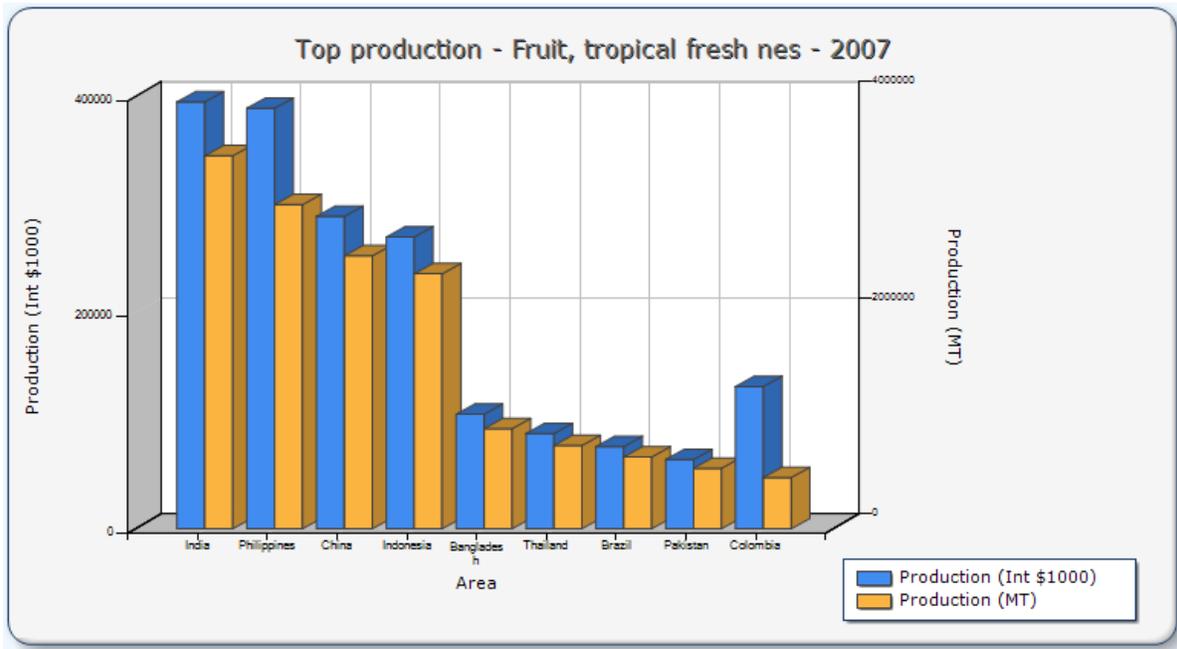


Figura 4. Valor de la producción y producción total de frutas en Colombia respecto a otros países.

Fuente: FAO, (2009 a).

1.2 JUSTIFICACIÓN

Se considera que el principal compromiso de los profesionales e instituciones del sector agropecuario en el ámbito local, regional y mundial es procurar la seguridad alimentaria, compromiso que es más urgente en los países denominados en vías de desarrollo, (FAO, 2000). Se estima que en el 2009 un total 1020 millones de personas en el mundo estaban desnutridas y que en Colombia de un total de 44.9 millones de habitantes 4.3 permanecían en estado de desnutrición lo que corresponde la 10 % de la población, (FAO, 2009b), esto se constituye en el gran reto a enfrentar por parte de los profesionales, en especial los investigadores, que deben dirigir sus esfuerzos a la generación de conocimientos y garantizar el desarrollo de tecnologías para la producción de alimentos en la cantidad y calidad requerida, entendida esta última, como aquella que satisfaga los requerimientos energéticos y de otros nutrientes esenciales para el hombre,

a la vez que sean alimentos sanos y que no constituyan riesgos para la población consumidora.

Para alcanzar mejores niveles de vida, la humanidad incorpora mayor proporción de proteína de origen animal en la dieta, en especial leche y carne. Esto se puede evidenciar por una creciente demanda de estos productos en el mundo. De acuerdo a Ocampo (2004), aproximadamente el 90 % del aumento de la demanda mundial de carne surgirá de los países en vías de desarrollo. Para satisfacer el aumento previsto en la demanda de carne, estos mismos países serán responsables del 82 % del aumento en el consumo mundial de cereales. Lo anterior originará en los sistemas de producción pecuaria en Colombia, una mayor dependencia de fuentes alimenticias externas.

Si se establece como prioritario producir carne y leche partiendo del sector ganadero, es necesario investigar y desarrollar alternativas que permitan el uso eficiente de las potencialidades del trópico, como el de la producción de biomasa. Según Murgueitio (2004), la reconversión ambiental y social de la ganadería implica procesos de prioridades tanto temáticas como territoriales, por ejemplo, la reducción de la frontera agropecuaria y el diseño de modelos de producción más sostenibles y competitivos puede lograrse a través de varias alternativas tales como:

- a. Incremento de la diversidad vegetal involucrada en los distintos sistemas de producción pecuaria, actualmente dominados en América Latina tropical por modelos de monocultivos.
- b. Mitigación de los efectos del pisoteo de los animales en los suelos, mediante la rotación e introducción de árboles y arbustos en los sistemas de pastoreo y mediante la estabulación parcial y la suplementación en los sistemas de corte y acarreo
- c. Integración con otros sistemas de producción que puedan ofrecer subproductos para alimentar los animales y/o aportar nutrientes al suelo: plantaciones forestales, avicultura, porcicultura, cultivos agroindustriales (yuca, camote, maíz, arroz, frutales, plátano).

Los residuos agroindustriales son en general materiales de naturaleza fibrosa, aparentemente con alta concentración de fibra en detergente neutra FDN, los cuales podrían ser utilizadas en la alimentación de rumiantes, tales como vacas lecheras y

animales de engorde, reconociendo la capacidad de estos animales para transformar alimentos con altos niveles de fibra; generando la integración de dos actividades agropecuarias en la búsqueda de mayor eficiencia para los dos modelos de producción.

Desde el punto de vista de la producción animal, los rumiantes en el mundo tienen una gran importancia debido a su habilidad para utilizar alimentos fibrosos y transformarlos en leche, carne, lana y otras fibras y en algunas ocasiones generar trabajo como fuerza para labores agrícolas o pecuarias (Van Soest, 1994).

Desde la teoría de sistemas se puede considerar a los rumiantes como uno de los eslabones de la cadena del flujo de energía, la cual inicia con las plantas a través de la fotosíntesis, capturando la energía solar y la transformándola en energía química, principalmente en forma de carbohidratos estructurales como la celulosa y la hemicelulosa, además de sintetizar proteínas y lípidos que son importantes también en la dieta de los herbívoros.

De acuerdo con Van Soest (1994) citado por Barahona y Sánchez (2005) los mamíferos no poseen las enzimas para hidrolizar los polisacáridos complejos que ocurren predominantemente unidos por enlaces β 1 – 4. Por el contrario, los rumiantes están entre los herbívoros más especializados, pues se valen de una relación simbiótica con los microorganismos de su tracto gastrointestinal, para utilizar las paredes celulares vegetales como una fuente de nutrientes.

La energía de los alimentos procede de la energía solar, la cual los organismos fotosintéticos la almacenan en sus cuerpos, estos organismos autotróficos la utilizan para elaborar todas sus sustancias orgánicas y de esta forma suplir a los animales herbívoros y otros organismos que se alimentan de ellos, (Van Soest, 1994)

Según lo descrito por Restrepo *et al* (2005) el uso de los nutrientes de los vegetales, en especial de los forrajes, es posible gracias a la actividad metabólica de las poblaciones microbianas que fermentan los alimentos ingeridos por el animal y producen ácidos grasos volátiles (AGV) y proteína microbiana que el animal hospedero emplea para su nutrición. El rumen es un ecosistema abierto de flujo continuo que proporciona un ambiente ideal para mantener las poblaciones de hongos, bacterias y protozoarios. Un adecuado suministro de alimentos permite mantener estables las condiciones ruminales mejorando el crecimiento de estas poblaciones.

El metabolismo de los microorganismos del rumen en ausencia de oxígeno se denomina fermentación, la cual convierte los carbohidratos en productos orgánicos tales como ácido grasos volátiles, ácido láctico y etanol. Estos productos retienen mucha de la energía original de los sustratos debido a que por la ausencia de oxígeno no se pueden oxidar en su totalidad hasta CO_2 y agua. Van Soest (1994).

Según lo reportado por Ungerfel y Kohn, (2006), la fermentación de las hexosas resulta en la producción de AGV y liberación de dióxido de carbono y metano (CH_4). La partición de los carbonos de la glucosa entre los diferentes AGV está afectada por el tipo de dieta y tiene consecuencias muy importantes en la producción animal y el medio ambiente.

Los ácidos grasos volátiles se absorben en su gran mayoría por la pared del rumen y van a la sangre y el hígado, de allí se distribuyen a las diferentes células en donde son transformados para producir energía en forma de ATP. Esta última forma de energía la utiliza el animal para su mantenimiento y la síntesis de leche, carne o lana o para actividades de tracción animal.

Dos de los ácidos grasos, el acético y el butírico, son transformados principalmente en grasa la cual es parte de la composición de la leche o carne producida, o en grasa que se almacena en el tejido adiposo como reserva energética.

Los residuos de cosecha o subproductos agroindustriales, son productos obtenidos durante la cosecha y/o procesamiento de los productos agrícolas, los cuales contienen parte de la energía de la planta de la cual proceden, principalmente en forma de carbohidratos, la cual puede ser transformada por los microorganismos a formas menos complejas, y éstas son posteriormente utilizadas para la producción de energía que sirve para la síntesis de los productos de origen animal.

Desde esta perspectiva, el flujo de energía del sol se transforma en energía química en las plantas y en los productos de los animales como la carne y la leche, la cual pasa como fuente de energía para los humanos, como último eslabón de la cadena alimenticia, además contribuye como fuente energética para la formación de compuestos como lípidos y proteínas, que se constituyen en nutrientes fundamentales en estos productos de origen animal.

En países desarrollados una parte de los residuos agrícolas son retornados al suelo y otros son usados en invierno para mantenimiento de bovinos de leche, esos recursos

representan un importante potencial económico; por ejemplo, para el estado de California en Estados Unidos los subproductos utilizados en la producción lechera alcanzan un valor total estimado de 232 millones de dólares al año, que representan cerca del 27% del alimento concentrado (Cuesta y Conde, 2002).

Ribeiro (2008) indica que para el caso de América Latina se produce más de 500 millones de toneladas de subproductos agrícolas y agroindustriales de los cuales Brasil es el responsable de más de la mitad de esta producción y al igual puntualiza en la necesidad de utilizarlas con el fin de evitar la contaminación ambiental que conlleva esta alta producción de desechos.

Según la FAO (2009) dentro del marco de la producción de frutas tropicales en el mundo, Colombia ocupa una posición relativamente importante, con el quinto lugar por el valor económico de su producción, ver tabla 1.

Comparado con Brasil, Colombia supera a este país cuando se trata de establecer el valor económico de la producción, aunque en cantidad producida Brasil supera a Colombia. 664000 toneladas métricas (TM) contra 474442 TM respectivamente.

Para el caso específico de Colombia, de acuerdo con Agrocadenas (2006 a), el sector hortofrutícola muestra un gran potencial gracias a la ampliación y diversificación de su consumo, el mejoramiento de algunas variedades y el interés en los mercados internacionales. Igualmente señala que el desarrollo de éste sector está íntimamente correlacionado con la capacidad de procesamiento industrial y la generación de valor agregado, para así ampliar los actuales mercados y aprovechar nuevas oportunidades.

Dentro del sector hortofrutícola se destaca el de frutas. Según datos del Ministerio de Agricultura, la producción del sector de frutas frescas en Colombia en el año 2002 alcanzó un valor de \$757.311 millones de pesos y se observa una creciente participación de estos productos en el total de la agricultura sin café, pasando de participar con el 6% en 1990 al 15% en el 2002. Esto se debe a la mayor dinámica de crecimiento del valor de la producción exhibida por los frutales (3.8%) con respecto al total agrícola sin café cuya tasa de crecimiento fue apenas de 1.3% durante la década de los noventa. Asimismo en el 2003 el sector de frutas frescas generó un total de 109.572 empleos directos. Agrocadenas, (2006 a).

Tabla 1. Mejores productores de frutas tropicales durante 2007.

Puesto	País	Producción (Int \$1000)	Producción (TM.)
1	India	395047	3451400
2	Filipinas	389164	3000000
3	China	289132	2526055
4	Indonesia	270042	2359270
5	Colombia	131629	474442
6	Bangladesh	105986	925965
7	Tailandia	88134	770000
8	Brasil	76034	664286
9	Pakistán	64097	560000
10	México	51507	350000
11	Malasia	26325	230000
12	Madagascar	21175	200000
13	Perú	18313	160000
14	Tunisia	8813	77000
14	Zambia	8813	77000
16	Jamaica	6524	57000
17	Cuba	5951	52000
18	Tanzania	5837	51000
19	Guinea	5207	45500
20	Côte d'Ivoire	5123	44761

Int: A precios internacionales para facilitar comparaciones. TM: Toneladas métricas

Fuente FAO (2009 a)

Según cifras de la Corporación Colombia Internacional, (2001) las empresas productoras de pulpas y de jugos explicaron, en 1999, el 60.9% de toda la demanda industrial de frutas frescas, consumiendo 35,170 t por un valor de \$15.309 millones; de ese total, el 40.6% se destinó a la industria de pulpas y el 20.3% a la de jugos; en términos de volumen, en 1999 la industria productora de jugos demandó 11.700 t de frutas frescas, mientras que la industria productora de pulpas demandó 23.500 t.

La demanda en volumen de productos hortofrutícolas frescos está concentrada en un 50% en 5 productos: tomate, mango, maracuyá, guayaba y frutas frescas. En el mismo contexto, el mango se ha convertido en una de las frutas predilectas como materia prima industrial, especialmente para el sector de jugos, pasando de un volumen de consumo de 2429 toneladas en 1993 a 21622 toneladas en el 2000, lo que significó pasar de un valor consumido de \$448,1 millones a \$4.483,4 millones. De esta forma, durante el período 1993-2000, el consumo de mango obtuvo un crecimiento en volumen de 32.1% y de 33.0% en valor. (Agrocadenas, 2006a)

De acuerdo a los anexos estadísticos actualizados a 2006, presentados por agrocadenas, (2006 b), el crecimiento del mango como materia prima industrial siguió la tendencia pasando de 23676 toneladas en el año 2001 a 50201 toneladas en al año 2004 , con crecimiento del 23 % durante este periodo. La figura 2 muestra el crecimiento de la demanda industrial de mango y otras frutas dentro de la cadena hortofrutícola evidenciando el posicionamiento de la industria y por ende el aumento de los subproductos agroindustriales derivados principalmente de la producción de jugos y pulpas.

Por otra parte, en el mismo contexto el mango dentro de la cadena de frutas y hortalizas se constituye en el principal renglón con el 29.8 % del total de la demanda de frutas en Colombia como materia prima industrial y el 19.2 % del total de frutas y hortalizas. Agrocadenas, (2006 b).

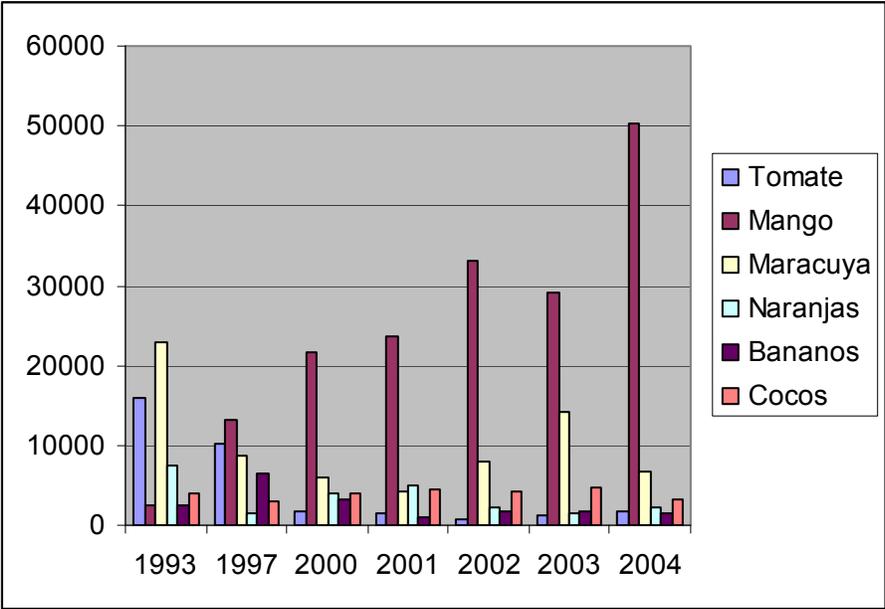


Figura 5. Demanda de mango y otras frutas como materia prima industrial en Colombia.

(Fuente: Adaptado de Agrocadenas 2006 a, Agrocadenas 2006 b)

Dentro del contexto analizado de acuerdo a las estadísticas de la FAO y de agrocadenas la producción de subproductos de mango en Colombia para el año 2007 se estima en un valor promedio de 32500 toneladas.

Aunque no se encontraron reportes sobre las cantidades actuales de suplemento utilizado por la ganadería en Colombia, para dar una idea relativa a la importancia que puede tener la cantidad de subproductos generados por la transformación de mango, se indica que la producción de alimentos balanceados como suplemento para ganadería en Colombia fue de 422000 toneladas durante el año 2004, (Agrocadenas 2009 b). Aproximadamente el 7.5 % del total de alimento balanceado comercial.

El modelo de integración con la agroindustria de procesamiento de mango, será susceptible de adaptar para otros tipos de integración agricultura ganadería, en donde el elemento integrador sea la utilización eficiente de la biomasa de poscosecha.

Debido a la estacionalidad de la producción agrícola, en este caso particular del mango, la producción de subproductos por el procesamiento de los mismos es también estacional, así como la utilización directa de los residuos agroindustriales, por lo cual se requiere implementar sistemas de conservación de estos subproductos. El ensilaje se constituye en un proceso tecnológico de fácil implementación, el cual adecuadamente manejado puede garantizar la conservación de la calidad nutricional. El proyecto plantea estudiar los factores más relevantes que determinan el proceso tales como, tiempo de fermentación, nivel de materia seca inicial de los materiales a tratar, la eficiencia generada en la fermentación por el uso de aditivos tales como inoculantes, microorganismos, enzimas digestivas, azúcares suplementarios y buscar alternativas de optimización del mismo.

Desde la teoría de los biosistemas este trabajo explora vías alternativas de optimización de los sistemas de producción animal a través de la integración de los sistemas de producción agrícola y agroindustrial y ganadero, de tal forma que los desechos de un proceso se conviertan en fuente para el apalancamiento de otros procesos, en este caso la producción animal a partir de los desechos de la agroindustria de mango.

1.3. META

Generar alternativas de integración de los sectores agrícolas y pecuarios para mejorar los índices de competitividad y sostenibilidad de la ganadería y la seguridad agroalimentaria de las regiones en donde se implemente el modelo.

2. OBJETIVOS

General

Evaluar la calidad nutritiva de los subproductos agroindustriales del mango (*Mangifera indica*), como alternativa de alimentación de rumiantes y establecer un proceso de conservación del recurso.

Específicos

Caracterizar químicamente y nutricionalmente el subproducto agroindustrial del mango (semilla y cáscara).

Predecir los efectos sobre la producción animal, por el uso de los subproductos como suplemento en un sistema de especializado de producción de leche, aplicando el modelo de Carbohidratos y proteínas netos de Cornell, CNCPS.

Establecer un proceso de conservación por ensilaje del subproducto agroindustrial.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. USO DE SUBPRODUCTOS EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.

De acuerdo a lo reportado por Kayouli y Lee (2001), los sistemas de producción animal pecuarios son una parte importante de los sistemas agropecuarios, principalmente en los países en desarrollo. Igualmente, son de extrema importancia para la seguridad alimentaria. Según lo indica Fabey (1997) citado por Barahona y Solange (2005), en el ámbito mundial el número de rumiantes que contribuyen a la seguridad alimentaria de los seres humanos se calcula en dos billones. Estos animales proveen 70% del total de la proteína animal consumida, 80% de la leche consumida y 10% de la fibra natural usada por los seres humanos. Se estima que en los próximos 25 años existirá la necesidad de doblar la producción de proteína animal derivada de los rumiantes a fin de asegurar el consumo de proteína de una población mundial creciente.

Sin embargo, los sistemas de producción animal tienen problemas de escasez de recursos alimenticios, en cantidad y calidad, en especial durante la estación seca y se convierte en el mayor obstáculo para mejorar la producción. Gran parte de los subproductos agrícolas, agroindustriales y de la pesca tienen un gran potencial como alimentos para animales. La mayoría de estos productos comúnmente no tienen uso y son en gran medida eliminados debido a la imposibilidad de los productores de usarlos ya se producen por épocas de alta abundancia. En consecuencia la gran mayoría se convierten en contaminantes ambientales.

El uso de algunos subproductos de cosecha de frutas, o residuos de las mismas producidos en procesos agroindustriales ha sido evaluado de diferentes formas buscando su viabilidad de uso en la alimentación animal. Especial énfasis ha sido puesto en la determinación de la calidad nutricional en términos de proteínas, carbohidratos y otros compuestos de interés en la industria animal (Ribeiro, 2008). Bampidis y Robinson (2005), realizaron una revisión exhaustiva de la calidad nutritiva de varios subproductos de cítricos como alternativa para la alimentación de rumiantes, tales como pulpa fresca de cítricos, ensilaje de cítricos, pulpa deshidratada de cítricos, entre otros. La atención se centró en sus características físicas, composición nutricional, digestión de nutrientes, y fermentación ruminal y su impacto en el comportamiento productivo de los animales.

Estos autores concluyeron que los cítricos pueden ser usados como una fuente de alta energía en rumiantes capaz de soportar crecimiento y lactancia, con muy poco efecto negativo en la fermentación de otros suplementos adicionales ricos en almidón. Sin embargo, también señalan que la alimentación con cítricos puede causar paraqueratosis ruminal cuando los niveles de forraje en la dieta son bajos.

Otros estudios de subproductos agroindustriales, derivados de la industria de frutas, como potenciales para la alimentación animal han sido orientados a la determinación de niveles de sustancias que pueden tener efectos negativos y positivos para la digestión de los animales. Oluremi *et al.* (2007) realizaron un análisis detallado de fitonutrientes presentes en harinas de cáscara de cítricos de cuatro especies *Citrus sinensis* (Washington), *Citrus sinensis* (Ibadan), *Citrus limonum* y *Citrus aurantium* en las cuales evaluaron la presencia y niveles de taninos, saponinas, fitatos, oxalato, flavonoides y limonano. A pesar, que la variación entre las diferentes harinas de cada uno de estos fitonutrientes fue estadísticamente significativa ($P < 0.01$) excepto para los taninos ($P > 0.05$) los mismos estuvieron en bajas concentraciones, por debajo de los niveles reportados como tóxicos para animales de granja.

Para el caso específico de los residuos agroindustriales de mango, el más reciente y principal acercamiento como estrategia para incorporar sus subproductos en la alimentación animal, ha sido desarrollado por el grupo de investigación de EMBRAPA en Brasil, para lo cual han implementado un programa de investigación y dentro de ellos se destaca la cáscara de mango, obtenida del proceso de pulpa y jugo, con resultados bastante significativos en la alimentación de rumiantes (Ribeiro 2009), Información personal.

Según lo descrito por Ribeiro *et al.*, (2008) los elevados tenores de humedad es el factor más limitante para el almacenamiento y utilización de los subproductos, siendo necesario estudios que evalúen formas de deshidratación como procesos de secado o fermentación (ensilajes), para que sean utilizados en la alimentación animal. En las localidades de clima seco, la deshidratación ha sido el procesamiento más utilizado para la conservación de residuos de frutas, (Rogério 2005), citado por Ribeiro *et al.* (2008).

En la región de Baiana en Brasil, la elevada humedad relativa del ambiente compromete la deshidratación, quedando como alternativa el ensilaje o el suministro del material fresco a los animales. (Ribeiro *et al.*, 2008).

La tabla 2 recopila la información disponible sobre la calidad nutritiva de los dos principales subproductos del procesamiento de mango, cáscara y semilla (pepa) encontrada en la literatura.

Para el caso específico de la semilla de mango se han reportado algunas de las características nutricionales más sobresalientes, en donde se destaca un adecuado perfil de aminoácidos en diferentes variedades de mango. La tabla 2 compara el perfil de aminoácidos de la semilla de mango con los referentes de la FAO, demostrando que se constituye en una fuente rica en leucina, valina y lisina (Díaz y Coto, 1993; Shahinaz, 2001, citados por Abdalla, *et al.*, (2006) y que ha excepción de la metionina, treonina y tirosina el resto de aminoácidos, están presentes en niveles superiores a los referentes de la FAO/WHO (Abdalla *et al.*, 2006).

Tabla 2. Información nutricional de los dos principales residuos industriales del procesamiento del mango.

Parámetro	Residuo industrial	
	Cáscara de mango	Semilla de mango
Materia Seca (%)	17.4	49.3
Proteína bruta (% de la MS)	4.9	6.0
Extracto etéreo (% de la MS)	1.4	11
Carbohidratos totales (% de la MS)		77
Fibra en detergente neutro (FDN) (% de la MS)	23.7	
Fibra en detergente ácido (FDA) (% de la MS)	14.0	
Hemicelulosa (% de la MS)	9.6	
Cenizas (% de la MS)		2

Fuentes: Ribeiro et al (2005), y Abdalla *et al.* 2006

En cuanto a la composición de las grasas (extracto etéreo) presentes en la semilla de mango, Abdalla, *et al.* (2006) (ver tabla 2), señala que del total de lípidos, el mayor porcentaje lo constituyen los lípidos neutros con un 94.7 %, seguidos por los fosfolípidos 3.6 % y glicolípidos 1.7 %. Dentro de los lípidos neutros se destacan los triglicéridos, con un 88.4 %, como porcentaje del total de los lípidos. De los fosfolípidos se resalta la presencia de fosfatidil colina, fosfatidil etanolamina. En cuanto a los ácidos grasos presentes en los lípidos neutros y los fosfolípidos los resultados revelan que del total de

lípidos el 44.6 % son saturados y el restante 46.5 % son insaturados, presentando una relación de insaturados: saturados entre 1.2 y 1.3.

Las características señaladas anteriormente para la semilla de mango la identifican como una materia prima para la alimentación humana y alimentación animal baja en proteína, pero rica en aminoácidos, especialmente esenciales, la cual puede ser susceptible de manejo industrial para la transformación en harina (Abdalla *et al.*, 2006).

Para el caso de la cáscara de mango Ribeiro *et al.*, (2008) señala que dentro de diversos subproductos de la agroindustria de frutas en Brasil el residuo industrial de mango se destaca como una alternativa viable para la alimentación animal, aunque se requiere mayor investigación al respecto.

El grupo de investigación de EMBRAPA en Brasil, realizó una comparación del potencial de diferentes subproductos agroindustriales de frutas, entre ellas el mango (cáscara), guayaba, marañón, guanábana y umbo. Se destaca que del total de subproductos evaluados la cáscara de mango fue la que presentó menores contenidos de FDN 23.7% y FDA 14 %, y que esta baja cantidad de constituyentes de la pared celular sugiere una alta disponibilidad de los nutrientes solubles, debido a que generalmente los valores de FDN se relacionan negativamente con el consumo de MS y los valores de FDA con la digestibilidad.

De acuerdo con lo identificado por Ribeiro *et al.* (2008), en el mismo proyecto de investigación con los residuos industriales de frutas en Brasil, al aplicar la técnica de producción *in vitro* de gases (de acuerdo a la metodología descrita por Theodorou *et al.* 1994) la cáscara de mango se destacó por la mayor digestibilidad de la materia seca, con valores de 83.6 % a las 48 horas, en comparación con los valores de los otros subproductos marañón 58.7 %, guanábana 57.6 % y la guayaba y el umbo que presentaron valores muy bajos, 39.7 % y 14.3 % respectivamente. (ver tabla 4).

El mango presentó los valores más elevados de digestibilidad de MS y producción total de gases en todos los tiempos de fermentación evaluados. En cuanto a las tendencias de la cinética de producción de gases se encontró la estabilización a las 72 horas siendo el tiempo máximo de incubación de 96 horas suficiente para alcanzar el máximo de degradación. La superioridad de los subproductos de mango probablemente se debe a contenido de sustratos solubles, fermentables. (Ribeiro *et al.*, 2008).

Tabla 3. Composición de aminoácidos en las semillas de mango comparada con los referentes de la FAO/WHO.

Aminoácido	Semilla de mango	Referente FAO/WHO
	(g/100 g proteína)	
Leucina	6.9 ± 0.2	4.8
Isoleucina	4.4 ± 0.2	4.2
Metionina	1.2 ± 0.1	2.2
Fenilalanina	3.4 ± 0.1	2.8
Lisina	4.3 ± 0.2	4.2
Treonina	3.4 ± 0.2	4.0
Tirosina	2.7 ± 0.1	4.1
Valina	5.8 ± 0.3	4.2
Total de aminoácidos esenciales	32.1 ± 0.3	
Aspártico	6.5 ± 0.4	
Glutámico	18.2 ± 0.8	
Serina	3.3 ± 0.1	
Prolina	3.5 ± 0.2	
Glicina	4.0 ± 0.4	
Alanina	4.2 ± 0.4	
Histidina	5.5 ± 0.6	
Arginina	7.3 ± 0.8	
Total aminoácidos no esenciales	52.2 ± 2.1	

Promedio ± DE, n = 4

Fuente: Abdalla et al (2006)

Tabla 4. Producción acumulada de gases y degradabilidad de la materia seca de diferentes subproductos de la agroindustria de frutas en Brasil.

Análisis/tiempo (horas)	Mango (cáscara)	Guayaba	Umbu	Guanábana	Marañón (bagazo crudo)
Producción acumulada de gases (ml)*					
6	107	56	17	84	80
12	220	112	29	134	141
24	291	148	44	193	187
48	331	163	57	221	225
96	347	173	69	236	248
Degradabilidad de la MS (%)*					
6	53	25	7	38	34
12	68	31	8	45	38
24	78	35	10	54	49
48	83	39	14	57	59
96	84	39	17	57	57

Fuente: Ribeiro *et al.* (2008)

3.2. CONSERVACIÓN DE BIOMASA.

Según lo expresado por Mannetje, (2001), los residuos de cosecha y agroindustriales son una importante fuente de biomasa para la alimentación animal y pueden ser suministrados a los rumiantes en forma fresca, sin embargo, es posible transformarlos para conservarlos y utilizarlos en el futuro durante períodos de escasez de alimento. La conservación de biomasa puede efectuarse por medio del secado al sol, henificación, fabricación de harinas y por la adición de ácidos o la fermentación por ensilaje. La henificación es difícil de realizar en las áreas tropicales porque en el momento en que el forraje tiene una calidad aceptable para su conservación, al inicio de la época lluviosa, las condiciones climáticas no permiten un secado solar eficaz y confiable. Por otra parte, el secado artificial es caro y el equipo necesario rara vez se encuentra disponible. El empleo de algunos ácidos puede resultar costoso para los pequeños campesinos y su empleo implica además cierto peligro. Por ello, el proceso de fermentación natural para obtener el ensilaje de ciertos alimentos, ya sea en su estado fresco o, de preferencia, empleando material ya marchito, es una opción para su conservación en las zonas tropicales.

Un problema para el ensilaje de subproductos agroindustriales es la disponibilidad estacional, a menudo acentuada por su alto contenido de agua. Sin embargo, muchos de ellos tienen un alto valor nutritivo. En los países industrializados se cuenta con procedimientos e infraestructura para convertir estos subproductos en harinas ricas en proteínas o en energía. Estas oportunidades no existen en los países tropicales menos desarrollados, sobretodo en las pequeñas aldeas donde a menudo estos subproductos se convierten en fuentes de contaminación: muy pronto se avinagran, son descompuestos por la acción de mohos y pierden gran cantidad de sus nutrientes solubles en el efluente del residuo. El proceso de la deshidratación resulta muy caro: son necesarios entre 250 a 300 litros de combustible y 200 kw/h de electricidad para producir una tonelada de subproducto deshidratado (88 – 90 % MS). En cambio, los resultados de la investigación demuestran que el ensilado de los mismos subproductos es una opción más apropiada y aconsejable para su conservación por períodos prolongados (Lien *et al.*, 1994; Bouqué y Fiems, 1988; Hadjipanayiotou, 1993, 1994,; Kayouli, 1989; Kayouli *et al.*, 1993; Kayouli y Lee, 1998), citados por Kayouli y Lee (1999).

3.2.1. El proceso de ensilaje

Según lo expresado por Silveira y Franco (2006) se denomina ensilaje a todo material vegetal húmedo conservado por fermentación o por acidificación directa, utilizando aditivos ácidos (orgánicos e inorgánicos). El ensilaje por fermentación es un proceso natural donde la intervención de los microorganismos presentes en la masa ensilada crean un nivel de acidez tal, producto de su propio metabolismo, que impide que otros microorganismos puedan descomponer el material ensilado. Estos mismos autores definen el ensilaje por fermentación como la oxidación incompleta de carbohidratos y sustancias semejantes por la acción de microorganismos.

La acción bacteriana sobre los carbohidratos puede ser aeróbica o anaeróbica. En presencia de suficiente oxígeno, la descomposición de los carbohidratos puede llegar hasta los productos finales: dióxido de carbono y agua. Esto no es deseable por que se perdería el total de energía de los materiales en proceso de conservación. Si no hay oxígeno libre, se desarrolla una combustión incompleta o descomposición anaeróbica. En la descomposición anaeróbica, los microorganismos no pueden obtener la cantidad máxima de energía existente en las sustancias fermentables.

En la respiración el sustrato es oxidado por deshidrogenación y el hidrógeno separado se combina con oxígeno. En los procesos de fermentación, el sustrato es también oxidado por deshidrogenación pero el hidrógeno liberado no es fijado por oxígeno. Es evidente pues, que la diferencia entre respiración y fermentación se fundamenta en que el hidrógeno sea o no aceptado por el oxígeno (Silveira y Franco, 2006).

La pérdida de parte de la energía de los carbohidratos del material conservado, durante la fermentación, es uno de los factores que destaca Van Soest (1994), ya que gran parte de los sustratos fácilmente disponibles para el crecimiento de los microorganismos del rumen disminuyen en los ensilajes. Para lograr conservar los carbohidratos y las proteínas se debe buscar una rápida fermentación láctica con una rápida disminución del pH que excluye otros tipos de fermentaciones. Cuando se eleva la presión osmótica se restringe la fermentación, pero los microorganismos acidolácticos son más tolerantes a los efectos osmóticos y a pH bajos que los no acidolácticos.

En países tropicales y subtropicales técnicas para la elaboración de ensilajes por fermentación están apareciendo y es probable que la importancia de los silos incrementará particularmente en donde los mercados de la leche y sus productos están bien desarrollados (Wilkins, 2005).

El ensilaje de los subproductos es considerado una opción de bajo costo, la cual puede preservar alimentos que abundan en determinadas épocas del año, los cuales posteriormente sirven como alimento en épocas de verano. El ensilado puede también mejorar algunos productos no palatales, debido al cambio de la naturaleza química del alimento. El ensilaje es un producto muy versátil y puede ser usado como dieta basal o como un suplemento en donde la dieta basal es el pasto (Mannetje, 2001).

Etapas del ensilaje: el proceso del ensilaje se puede dividir en 5 fases:

Fase 1 – Fase aeróbica o de respiración de los materiales

En el momento de la introducción del material, entre la masa del producto queda aire aprisionado, y aunque el forraje se introduzca a presión en el silo, inevitablemente queda retenido parte del aire. Mientras exista algo de aire, la respiración continúa y determina una combustión de los azúcares con formación de anhídrido carbónico y agua, así como desprendimiento de calor. El calor desprendido y por tanto pérdida de energía dependerá de la cantidad de aire disponible (Silveira y Franco, 2006).

En esta fase -que dura sólo pocas horas- el oxígeno atmosférico presente en la masa vegetal disminuye rápidamente debido a la respiración de los materiales vegetales y a los microorganismos aeróbicos y aeróbicos facultativos como las levaduras y las enterobacterias. Además hay una actividad importante de varias enzimas vegetales, como las proteasas. El pH se mantiene en el rango de 6,0-6,5 considerado normal (Stefanie et al. 2001).

Cuando el proceso de llenado no es rápido o la compactación es deficiente la respiración de los materiales continua, la temperatura prosigue elevándose y la desintegración de los carbohidratos solubles continúa, disminuyendo además las proteínas, resultando en un producto sobrecalentado (más de 53 °C, de color pardo oscuro a negro) el cual no tiene el valor nutritivo necesario u óptimo (Silveira y Franco, 2006).

La respiración en los tejidos de las plantas que están muriendo implica la disipación de los azúcares y la hidrólisis de las proteínas, estos procesos no afectan la digestibilidad del material pero puede limitar la fermentación en el silo y posteriormente una adecuada utilización de los nutrientes en el rumen, (Anderson (1985) citado por Van Soest (1994)).

Fase 2 – Comienzo de la acidificación

De acuerdo a lo expuesto por Silveira y Franco (2006), a medida que el aire se elimina progresivamente se produce una selección microbiana. Así se eliminan primero la mayoría de los microorganismos que necesitan aire para desarrollarse; a continuación al morir las células vegetales por falta de oxígeno, se producirá el desarrollo de las bacterias facultativas, y por último, el de las anaerobias. A este grupo pertenecen las bacterias lácticas, butiricas y un nutrido grupo de proteolíticas, que degradan a las proteínas.

Siguiendo un orden cronológico, es el grupo Coli-aerógenos o falsas bacterias lácticas el primero en desarrollarse. Estas bacterias transforman los azúcares de la planta en ácido fórmico, ácido acético, alcohol, anhídrido carbónico, y en ocasiones, en ácido butírico. Además del ataque de los azúcares, producen también la degradación de las proteínas, que se descomponen con formación de amoníaco y aminos tóxicos. Dos factores limitan su actividad: la elevación de la temperatura y la acidez del medio. Esta fase es generalmente de corta duración debido a la acidificación rápida que se produce simultáneamente por las bacterias lácticas.

Fase 3. Inicio de la fermentación láctica

El inicio de la fermentación láctica depende de la actividad de los fermentos del ácido láctico de las bacterias lácticas verdaderas: lactobacilos (anaerobias facultativas) sobre los hidratos de carbono adecuados. Apenas el 10% del número total de bacterias de la planta verde (microflora epifítica) está compuesto por este grupo, el más importante en el ensilado. De su desarrollo y de su fermentación dependerá el éxito o el fracaso del ensilado. Su actividad estará condicionada por los factores siguientes: a. El número de bacterias lácticas presentes en el forraje fresco. b. La presencia de azúcares fermentables en cantidades suficientes y liberados en el momento oportuno c. La ausencia de aire de la masa ensilada (o ausencia casi total de aire) (Silveira y Franco, 2006).

Fase 4. Producción máxima de ácido láctico y estabilización

Stefanie *et al.* (2001), explica que si la fermentación se desarrolla con éxito, las BAC proliferarán y se convierten en la población predominante. A causa de la producción de ácido láctico y otros ácidos.

Como consecuencia, se produce una fuerte acidez en el silo que arroja cifras de estabilización de pH entre 3,5 y 4,2. Esta acidez se consigue en un silo de gramíneas con una concentración de 1,5 a 2,0% de ácido láctico. Debido a esta fuerte acidez se produce en cierto modo una esterilización en la masa, de forma que el crecimiento de todas las demás especies de bacterias queda paralizado, así como todo tipo de actividad enzimática y por último se inhibe también el desarrollo de las mismas bacterias lácticas. Creando un estado de estabilización o de reposo que permite la conservación casi indefinida del alimento ensilado. (Silveira y Franco, 2006).

Las tres primeras fases terminan aproximadamente en los tres primeros días, si el material ha sido bien ensilado y la última o de estabilización se desarrolla entre el día 4 hasta los días 17 a 21 días después de iniciado el proceso.

Fase 5 – Fase de deterioro aeróbico.

Esta fase comienza con la apertura del silo y la exposición del ensilaje al aire. Esto es inevitable cuando se requiere extraer y distribuir el ensilaje, pero puede ocurrir antes de iniciar la explotación por daño de la cobertura del silo (p. ej. roedores o pájaros). El período de deterioro puede dividirse en dos etapas. La primera se debe al inicio de la degradación de los ácidos orgánicos que conservan el ensilaje, por acción de levaduras y ocasionalmente por bacterias que producen ácido acético. Esto induce un aumento en el valor del pH, lo que permite el inicio de la segunda etapa de deterioro; en ella se constata un aumento de la temperatura y la actividad de microorganismos que deterioran el ensilaje, como algunos bacilos.

La última etapa también incluye la actividad de otros microorganismos aeróbicos –también facultativos como mohos y enterobacterias. El deterioro aeróbico ocurre en casi todos los ensilajes al ser abiertos y expuestos al aire. Sin embargo, la tasa de deterioro depende de la concentración y de la actividad de los organismos que causan este deterioro en el

ensilaje. Las pérdidas por deterioro que oscilan entre 1,5 y 4,5 por ciento de materia seca diarias pueden ser observadas en áreas afectadas. Estas pérdidas son similares a las que pueden ocurrir en silos herméticamente cerrados y durante períodos de almacenaje de varios meses (Honig y Woolford, 1980 citados por Stefanie *et al.* 2001).

Al final cuando los silos son abiertos para alimentar los animales ocurre una última pérdida aeróbica. La entrada de aire estimula la actividad de levaduras y bacterias, metabolizando carbohidratos solubles, fermentación de ácidos e inclusive carbohidratos estructurales. El calentamiento tan alto en la superficie del silo indica la magnitud de las pérdidas, las cuales en condiciones extremas pueden alcanzar un 30 por ciento en un período de 10 días (Honig y Woolford, 1980, citados por Wilkins, 2005).

3.2.2. Factores que afectan el proceso y la calidad de los ensilajes

La eficiencia de fermentación hace referencia a dos conceptos importantes, el primero de ellos a la eficiencia con que los azúcares son convertidos para una buena producción de ácidos para prevenir el desarrollo de *Clostridium*. El segundo concepto es la necesidad de una reducción rápida del pH en los dos o tres primeros días para detener la proteólisis.

La conservación del silo depende de conservar el forraje en condiciones anaeróbicas, bajo estas condiciones algunos ácidos, en especial el ácido láctico es producido por fermentación disminuyendo el pH a niveles suficientes para inhibir el crecimiento de microorganismos que promuevan la putrefacción. Si estas condiciones no son alcanzadas estos microorganismos rompen el ácido láctico y los aminoácidos a ácido butírico, amoníaco, aminas y otros productos de la degradación.

Existen múltiples factores que intervienen para un adecuado proceso de fermentación, dentro de los que se destaca la actividad de agua, la cual determina el tipo de fermentación que predomina durante todo el proceso de ensilaje, de otro lado, son importantes los efectos que sobre la calidad del producto y la producción animal derivados de los cambios durante el proceso de ensilaje como son la disminución de la calidad del producto y el consumo de ensilaje por parte del animal.

a. Actividad de agua (a_w):

Los principales microorganismos de la putrefacción son los *clostridium* los cuales son sensibles a la actividad del agua (a_w), más que por el pH per se. La actividad de agua se explica como una medida de la presión de vapor relativa, determinada por el contenido de humedad y las moléculas y los iones en el jugo de la planta, McDonals, Henderson y Heron (1991) citados por Wilkins (2005). Por tanto, el pH crítico requerido para alcanzar la estabilización de un silo es menor para los materiales más húmedos. La tabla 5 presenta la relación entre el contenido de materia seca, los valores de actividad de agua (a_w) y el pH.

Si un pH suficientemente bajo es alcanzado el silo se mantiene estable por varios años siempre y cuando las condiciones anaeróbicas se mantengan. Wilkins, (2005)

Tabla 5. Valores críticos de actividad de agua (a_w) y sus correspondientes valores de pH requeridos para considerar estabilizado un silo.

Materia seca (g/Kg.)	Actividad de agua (a_w)	pH requerido para la estabilización
150	0,985	4,10
200	0,980	4,20
250	0,975	4,35
300	0,971	4,45
350	0,966	4,60
400	0,961	4,75
450	0,956	4,85
500	0,952	5,00

Fuente: Weissbach (1996) Citado por Wilkins, (2005)

b. Cambios en el valor nutritivo

El valor nutritivo de los forrajes cuando se genera fermentación con *clostridium* se disminuye asociada con un gran rompimiento de las proteínas generando altos contenidos de amoníaco y altos contenidos de ácido acético y butírico Wilkins (2005). La tabla 6 presenta los cambios en la composición de un forraje cuando su proceso de fermentación se presenta en forma normal (fermentación láctica) y la compara con un procesos de fermentación inadecuada (fermentación por clostridium), señalando como el tipo de acidos producidos cambia y parte importante de la proteína es transformado en amoníaco.

Lo anterior es ratificado por Carpintero *et al.* (1979) quienes señalan que en una fermentación incontrolada de un silo, en donde predomina el crecimiento de *clostridium*, el 45 % de la proteína puede ser destruida, los aminoácidos son transformados en amoníaco y ácido butírico y que el rompimiento rápido de las proteínas ocurre en los primeros días seguido por un largo periodo de reducida actividad proteolítica.

Los valores reportados en la tabla 6, igualmente identifican la importancia de los contenidos de MS del material en el momento de ser ensilado, demostrando que cuando se aumenta la cantidad de materia seca por un presecado en campo del material, antes de ensilar, lo cual a su vez disminuye los valores de actividad de agua, conllevan a una fermentación láctica, disminuyendo el riesgo de una fermentación por *Clostridium*.

Igual patrón de comportamiento encontraron Slottner y Bertilsson (2006) quienes al incrementar el nivel de materia seca y utilizando inoculantes redujeron significativamente la proteólisis y la formación de amino ácidos durante el ensilaje.

c. Reducción en el consumo de alimento y en la eficiencia de utilización de la proteína en el rumen

Los ensilajes pueden resultar en una reducción en el consumo de alimento o en la eficiencia de la utilización de la proteína comparada con el material no ensilado. La reducción en el consumo de alimento es más severa en materiales que han derivado a su fermentación con *clostridium* y se caracterizan por su alto contenido de nitrógeno amoniacal.

Tabla 6. Composición típica de los pastos antes del ensilaje y después de una fermentación con *Clostridium* comparada con una fermentación láctica

	Pasto cortado directamente		Pasto presecado	
	Antes de ensilar	Después de fermentación por <i>Clostridium</i>	Antes de ensilar	Después de fermentación láctica
MS (g/Kg. de materia fresca)	180	200	300	290
pH	6.0	5.0	6.0	4.3
CHS (g/Kg. de materia fresca)	20	0	30	7
Composición de la MS (g/Kg.)				
Carbohidratos hidrosolubles	110	0	100	25
Fibra en detergente neutra	500	550	510	525
Proteína cruda	150	160	155	160
Acido Láctico		25		55
Acido Acético		30		15
Acido Butírico		20		0
Composición del nitrógeno (g/Kg)				
Proteína verdadera	800	300	700	400
Amoniaco		220		80

Fuente: Wilkins (2005)

Barry *et al* (1978) citados por Wilkins (2005) demostraron que las limitaciones en el consumo están asociadas a la decarboxilación, más que a la deaminación de los aminoácidos, sin embargo, cuando la fermentación con *clostridium* es prevenida por una buena fermentación y acidificación, el consumo también se reduce. Así la adición de ácido láctico a un ensilaje reduce el consumo, aunque no es tan severa como cuando se reduce por efecto de la fermentación con *clostridium*.

En adición a la reducción en el consumo de alimento, los ensilajes normalmente resultan en una baja eficiencia de utilización de la proteína en el rumen. Esto como resultado de un rompimiento importante de proteínas a aminoácidos y a otros compuestos nitrogenados y a la reducción de carbohidratos solubles que se transforman en ácidos. Así cuando se utiliza ensilaje como alimento hay una rápida producción de amoníaco en el rumen pero la poca cantidad de carbohidratos disponibles limita la síntesis de proteína microbial. Las pérdidas de nitrógeno en la orina generalmente son más altas en animales alimentados con ensilajes que aquellos alimentados con forrajes frescos. Sin embargo, la adición de

carbohidratos realmente disponibles como los almidones u otros carbohidratos solubles como suplemento mejora la síntesis de proteína microbial en el rumen. Las acciones encaminadas a reducir el rompimiento de las proteínas y la fermentación de los carbohidratos del silo mejoran la utilización del nitrógeno en el rumen (Wilkins, 2005).

3.2.3. Microbiología del proceso de ensilaje.

Los microorganismos que se desarrollan durante el ensilaje juegan un papel clave para el éxito del proceso de conservación. Los microorganismos pueden ser divididos en dos grupos principales: los microorganismos benéficos y los microorganismos indeseables.

Los microorganismos benéficos son las bacterias ácido lácticas BAC. Los indeseables son aquellos organismos que causan el deterioro anaeróbico por ejemplo *Clostridium* y enterobacterias o deterioro aeróbico como es el caso de las levaduras, bacilos, *Listeria* sp. y mohos. Muchos de estos organismos indeseables no sólo reducen el valor nutritivo del ensilaje sino que pueden además afectar la salud de los animales o alterar la calidad de la leche, o ambas, como ejemplo de ello se puede citar a *Listeria* sp., *Clostridium*, hongos y bacilos (Stefani, 2001).

De acuerdo con Woolford (1998) la fermentación por ensilaje debe ser predominantemente láctica producida principalmente por las bacterias ácido lácticas encontradas en forma natural en los recursos alimenticios que se van a conservar. Estas bacterias fermentan azúcares hidrosolubles y los metabolizan principalmente en productos de fermentación como ácido láctico, acético, etanol, manitol y dióxido de carbono. Lo ideal es que predomine el ácido láctico debido a que este es el más fuente de los ácidos producidos por un ensilaje (tiene el menor valor de pKa con 3.08), y es extremadamente palatable para los rumiantes. El ácido acético (pKa 4.64) realiza una menor contribución a la acidificación y no es palatable para los rumiantes. El menos palatable de todos es el manitol. El dióxido de carbono es un ácido débil y probablemente no contribuye significativamente a la acidificación.

De acuerdo con Silveira y Franco (2006), las principales bacterias que intervienen en el proceso normal de fermentación en los ensilajes pertenecen a la familia *Lactobacillaceae*; son bacilos o cocos Gram positivos (estreptococos) y fermentan los hidratos de carbono

esenciales para su desarrollo dando ácido láctico y otros productos. En sus géneros se encuentran especies microaerófilas, anaerobias y facultativas.

Los principales géneros de bacterias ácido lácticas en el ensilaje son:

Lactobacillus: bacilos delgados, inmóviles, anaerobios o microaerófilos, fermentan la glucosa y azúcares semejantes, dando ácido láctico (homofermentación). Si además dan como producto final otras sustancias, la fermentación es heterofermentativa. Habitan en el intestino de los lactantes, en la leche y derivados, así como en productos vegetales. Necesitan vitaminas para su crecimiento.

Streptococcus: grupos heterogéneos de cocos que forman cadenas de longitudes desiguales. Algunos poseen polisacáridos capsulares con especificidad de especie que sirven para clasificarlos en varios grupos antigénicos. Algunas especies son agentes de enfermedades de los animales, el hombre y las plantas, fermentan la leche, etc.

Leuconostoc: son cocos esféricos que crecen en disoluciones que contienen hidratos de carbono (sacarosa en especial), produciendo un característico mucílago de polisacáridos, por ejemplo, *Leuconostoc mesenteroides*, que se encuentra en los ensilados.

La tabla 7 presenta la lista de los más importantes bacterias ácido lácticas que intervienen en el proceso de fermentación de los ensilajes, si éste tipo de bacterias predomina en el proceso de fermentación, el pH será bajo y la preservación será máxima (Van Soest 1994).

Tabla 7. Principales bacterias ácido lácticas en los ensilajes de acuerdo al tipo de fermentación

Homofermentativas	Heterofermentativas
<i>Lactobacillum plantarum</i>	<i>Lactobacillum brevis</i>
<i>Lactobacillum casei</i>	<i>Lactobacillum buchneri</i>
<i>Streptococcus faecalis</i>	<i>Lactobacillum fermentum</i>
<i>Streptococcus lactis</i>	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>
<i>Streptococcus faecium</i>	
<i>Pediococcus cerevisiae</i>	
<i>Pediococcus acidilactici</i>	

Fuente McDonald, 1981 Citado por Van Soest (1994).

Según lo descrito por Stefani *et al.*, (2001), algunas bacterias ácido lácticas desdoblan las proteínas hasta aminoácidos, pero nunca hasta amoníaco. Las bacterias lácticas pueden asimilar sustancias orgánicas como aminoácidos, péptidos y polipéptidos, y sustancias inorgánicas como sales de amoníaco, siendo su propia acidez lo que impide que sigan desarrollándose.

Las BAC se encuentran como microflora epifítica sobre la superficie de los vegetales. Su población natural crece significativamente entre la cosecha y el ensilaje. Pertenecen a los géneros: La mayoría de ellos son mesófilos, o sea que pueden crecer en un rango de temperaturas que oscila entre 5° y 50 °C, con un óptimo entre 25 y 40 °C. Todos los miembros del BAC son aeróbicos facultativos, pero muestran cierta preferencia por la condición anaeróbico.

El mismo autor indica que, teniendo en cuenta el metabolismo de los azúcares, los miembros BAC pueden ser clasificados como homofermentadores obligatorios, heterofermentadores facultativos o heterofermentadores obligatorios. Los homofermentadores obligatorios producen más de 85 por ciento de ácido láctico a partir de hexosas (azúcares C6) como la glucosa, pero no pueden degradar las pentosas (azúcares C5) como la xilosa. Los heterofermentadores facultativos también producen principalmente ácido láctico a partir de hexosas, pero además pueden degradar algunas pentosas produciendo ácido láctico, ácido acético y/o etanol.

Los heterofermentadores obligatorios degradan las hexosas y las pentosas, pero se distinguen de los homofermentadores en que degradan las hexosas en proporciones equimolares de ácido láctico, CO₂, ácido acético y/o etanol.

De acuerdo con Woolford (1998), existe una especie de sucesión en el crecimiento de las bacterias la cual inicia con *Streptococos*, continua con *Lactobacilos* y finalmente termina con *Pediococos* la cual obedece a la tolerancia a la acidez. El género *Streptococo* es menos tolerante a la acidez y el *Pediococos* el más tolerante.

En los procesos de ensilaje que no son manejados adecuadamente, de acuerdo con lo señalado por Silveira y Franco (2006), se pueden presentar fermentaciones indeseables como la butírica, la cual es desarrollada por distintas bacterias, que perjudican la calidad del ensilado. Se presentan también como productos finales de esta fermentación los ácidos acéticos, propiónico, fórmico y algunos ácidos volátiles. El pH óptimo para este tipo de fermentación es alcalino o superior a 5.

Las bacterias butíricas pertenecen a la familia *Bacillaceae*, bacilos grandes, Gram positivos, a veces forman cadenas, endosporógenos, la mayoría móviles, anaerobios. Algunas especies son patógenas de los animales y el hombre. Otras son saprofitas.

La tabla 8 relaciona los principales *Clostridium* presentes en el ensilaje y que pueden conllevar a un deterioro del mismo. En general los *Clostridium* son patógenos de los animales y del hombre. Muchas especies producen potentes exotoxinas. Algunas especies son importantes como productoras de intoxicaciones alimenticias, sobre todo en los alimentos en conserva. También se encuentran especies saprofitas. Industrialmente, algunas especies se emplean en la fabricación de alcohol butírico a partir de los hidratos de carbono (Silveira y Franco, 2006).

Los microorganismos fermentadores no lácticos, como los *Clostridium* y *Pseudomonas* metabolizan el ácido láctico, pero afortunadamente si el proceso es adecuado son inhibidas por pH bajos y por la presión osmótica (Van Soest, 1994).

Tabla 8. Especies de *clostridium* en el ensilaje.

Especie	Características
<i>Clostridium tyrobutyricum</i>	Fermentan azúcares y ácido láctico
<i>Clostridium sphenoides</i>	Fermentan azúcares y ácido láctico
<i>Clostridium bifermentans</i>	Fermentan amino ácidos
<i>Clostridium sporogenes</i>	Fermentan amino ácidos
<i>Clostridium pertringens</i>	Fermentan azúcares, ácido láctico, amino ácidos y producen toxinas

Fuente: McDonald (1981), citado por Van Soest (1994)

Los *Clostridium* fermentan el ácido láctico y los azúcares a ácido butírico y posteriormente fermentan las proteínas a productos finales como el amoníaco el cual eleva el pH invirtiendo el trabajo inicial alcanzado por las bacterias acidolácticas. Afortunadamente si el pH del ensilaje es lo suficientemente bajo el nivel alcanzado previene el crecimiento de los *Clostridium*. La estabilidad (prevención del crecimiento de *Clostridium*) es alcanzada en silos con altos niveles de materia seca debido a que los *Clostridium* son menos tolerantes a la baja disponibilidad de agua que las BAC. Cuando el recurso a ensilar esta por encima del 30 % de materia seca la fermentación por *Clostridium* es suprimida debido a la poca disponibilidad de humedad. Generalmente con un 20 % de MS la estabilidad del silo es alcanzada con un pH cercano a 4.0.

La figura 3 presenta el nivel de pérdidas de materia seca de acuerdo con el porcentaje de MS de del material en el momento de ser ensilado. Al aumentar la cantidad de MS disminuye la actividad de agua, los clostridium son menos tolerantes a la presión osmótica lo que conduce un menor deterioro del material y por tanto menores pérdidas de MS.

De otro lado, están presentes en el silo bacterias proteolíticas las cuales pueden deteriorar las proteínas y péptidos y producir amoniaco, afortunadamente una buena producción y concentración de ácido láctico impide que las bacterias proteolíticas actúen; estas bacterias necesitan de un pH neutro o por encima de 5, lo cual no sucede en el ensilado con la acidez requerida.

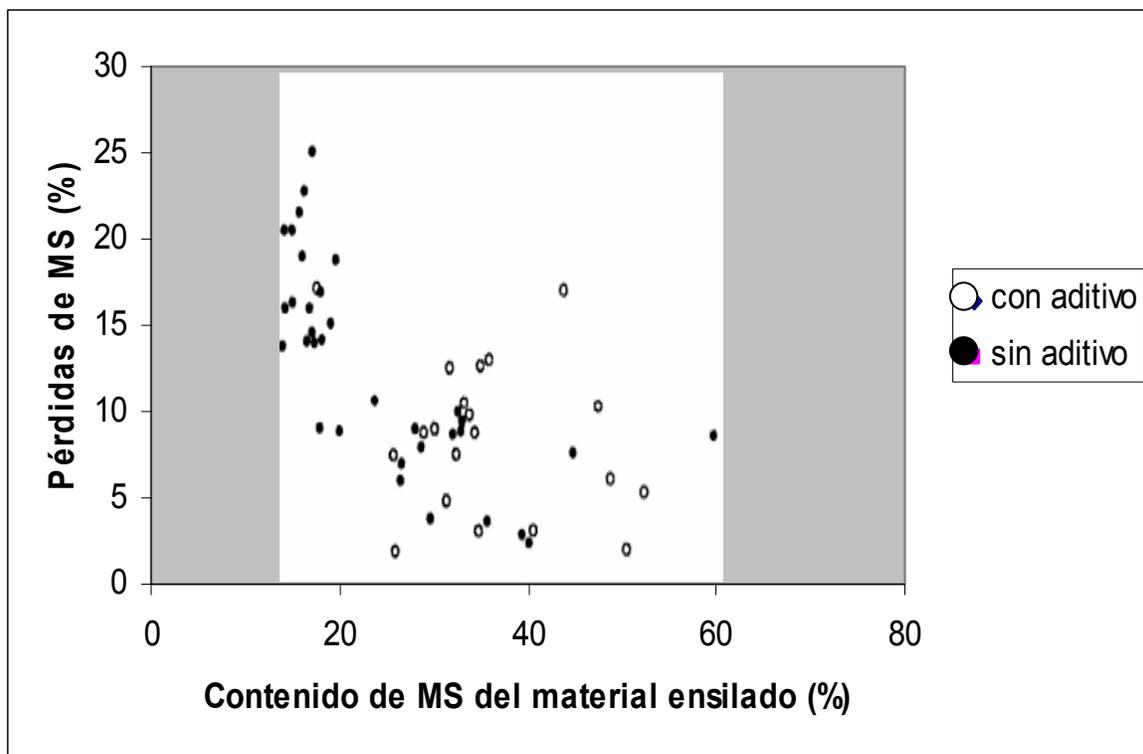


Figura 6. Pérdidas de materia seca en el silo en relación con el contenido de MS.

Fuente: Zimmer y Wilkins (1984) citados por Wilkins (2005)

Finalmente, existen múltiples microorganismos que generan deterioro aeróbico de los silos, el cual se puede presentar durante el proceso de elaboración o en el mismo proceso de conservación, por ingreso de aire en silos mal sellados o por que sufren rupturas o cuando el silo se destapa para el suministro a los animales e ingresa oxígeno que

promueve su crecimiento. La tabla 9 relaciona los principales géneros de microorganismos asociados con el deterioro aeróbico.

El metabolismo aeróbico de los ácidos por parte de los mohos eleva el pH del silo con el consecuente deterioro del mismo. Éste tipo de metabolismo permite el completo uso del ácido láctico, transformándolo en productos finales agua y CO₂ y una gran producción de calor. El calentamiento producido por este tipo de metabolismo puede inducir reacciones de Maillard y es responsable del daño por calentamiento e incluso producción de fuego en el silo.

Tabla 9. Géneros asociados con el deterioro aeróbico de los ensilajes

Hongos		
Levaduras	Mohos	Bacterias aeróbicas
<i>Candida</i>	<i>Aspegillus</i>	<i>Acetobacter</i>
<i>Cryptococcus</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Bacillus</i>
<i>Hansenula</i>	<i>Geotrichum</i>	<i>Strptomyces</i>
<i>Pichia</i>	<i>Monascus</i>	
<i>Saccharomyces</i>	<i>Mucor</i>	
	<i>Penicillum</i>	
	<i>Rhizopus</i>	
	<i>Trichoderma</i>	

Fuente: McDonald (1981), citado por Van Soest (1994)

3.2.4. Aditivos utilizados en los ensilajes.

La tabla 10 presenta la clasificación de los principales aditivos utilizados para la elaboración de ensilajes, Dentro del primer grupo o categoría están los estimulantes de la fermentación y allí se sitúan los aditivos evaluados en el presente estudio.

Dentro de la segunda categoría Los inhibidores de la fermentación pueden, en teoría, usarse para todo tipo de forraje. Pero, en la práctica se usan generalmente sólo para cultivos con bajo contenido de carbohidratos hidrosolubles (CHS) y/o alta capacidad tampón (McDonald *et al.*, 1991 citado por Stefani *et al.*, 2001).

En la tercera categoría, están los compuestos destinados a inhibir la actividad y desarrollo de de los organismos responsables del deterioro aeróbico y muy especialmente de aquellos que dan comienzo a este proceso, por ejemplo levaduras y bacterias que

generan una fermentación acética). Algunos aditivos útiles para este propósito incluyen varios ácidos grasos volátiles, como el propiónico y el acético, y otros de tipo biológico, provenientes de microorganismos como lactobacilos y bacilos que son capaces de producir bacteriocinas (Woolford, 1975a; McDonald *et al.*, 1991; Phillip y Fellner, 1992; Moran *et al.*, 1993; Weinberg y Muck, 1996), citados por Stefani *et al.* (2001).

Según lo presentado por anterior autor, ciertos materiales para ensilaje presentan deficiencias en algunos componentes nutritivos esenciales para una buena dieta para rumiantes. Al suplir los elementos deficitarios con un aditivo en el momento de ensilar se mejora el valor nutritivo del forraje. Los aditivos empleados con este propósito incluyen el amoníaco y la urea que permiten aumentar el contenido en proteína del ensilaje, y la cal y el MgSO₄ que aumentan el contenido de calcio y magnesio. Si bien estos últimos aditivos no tienen efecto benéfico alguno en la fermentación, la urea y el amoníaco pueden mejorar la estabilidad aeróbica del ensilaje.

Tabla 10. Categorías de aditivos para el ensilaje.

Tipo de aditivo	Ingrediente activo típico	Comentarios
Estimulantes de la fermentación	BAC Azúcares (melaza) Enzimas	Puede afectar la estabilidad aeróbica
Inhibidores de la fermentación	Ácido fórmico* Ácido láctico* Ácido minerales Nitritos Sulfitos Cloruro de sodio	Inhibición de <i>clostridium</i>
Inhibidores de deterioro aeróbico	BAC Ácido propiónico* Ácido benzoico* Ácido sórbico*	
Nutrientes	Urea Amoníaco Minerales	Puede mejorar estabilidad aeróbica Puede mejorar estabilidad aeróbica
Absorbentes	Pulpa seca de remolacha azucarera Paja	

* o su sal correspondiente.

Fuente: Stefani et al, (2001)

Uso de ingredientes alimenticios y subproductos como aditivos

Este tipo de aditivos se encuentran dentro de la categoría de estimulantes de la fermentación y de acuerdo a lo reportado Mühlbach (2001) la incorporación de ingredientes ricos en elementos fácilmente fermentables tales como el azúcar o la melaza a sustratos provistos por forrajes tropicales con valores bajos de MS y de azúcares, permite mejorar la fermentación del ensilaje. En general, los granos y sus subproductos industriales como el maíz o la harina de sorgo, el salvado de arroz, la harina de yuca, la pulpa de cítricos y otros también pueden ser usados como aditivos, en parte para suplir un sustrato fermentable, pero también para influir sobre la evolución de la fermentación al absorber el exceso de humedad.

Para optimizar su eficacia y reducir las pérdidas de nutrientes en el efluente, deben usarse en tasas relativamente altas (aspirar a obtener un contenido mayor al 25 % de MS de la mezcla) y efectuar una buena mezcla con el forraje picado; esto requiere mano de obra extra y equipo apropiado. Este tipo de aditivo puede estar disponible en forma estacional y sólo en ciertos lugares. Pero al evaluar la rentabilidad de su empleo se debe considerar el efecto positivo que tienen al mejorar el valor nutritivo del ensilaje (Mühlbach, 2001)

Sustratos para la fermentación

Generalmente los sustratos para las bacterias acidolácticas son monosacáridos y disacáridos, sin embargo, otras fuentes de sustrato pueden ser fermentadas, como los ácido cítrico y el málico, Además la cantidad de sustrato fermentable puede aumentar cuando algunas enzimas hidrolizan el almidón y la hemicelulosa, aportando hexosa y pentosas para la fermentación. Así la cantidad de sustrato necesario para una completa fermentación depende de dos factores principalmente: la capacidad buffer y la cantidad de materia seca del material a ensilar. La capacidad buffer es la cantidad de ácido requerido para disminuir el pH de 6 a 4 por cada unidad de materia seca (Muck, 1988)

En general, el mínimo de carbohidratos solubles (CS) para una fermentación apropiada esta entre el 6 al 12 % (Horvey, 2008), Esta cantidad la debe tener el material a ensilar o por el contrario deben ser adicionada. Dentro del anterior rango, la cantidad de CS requerida, depende de la capacidad buffer del material a ensilar y del contenido de materia seca del material inicial.

Según Horvey, (2008), la proteína de las materiales incrementa la capacidad buffer de los ensilajes. A mayor capacidad buffer en el forraje se requiere mayor tiempo de ensilaje y mayor cantidad de CS para un buen resultado. Las leguminosas generalmente tienen una alta capacidad buffer requiriendo altos porcentajes de CS, así:

- Leguminosas con alta capacidad buffer requieren aproximadamente entre 10 a 12 % de CS
- Gramíneas con moderada capacidad buffer requieren un mínimo de 6 a 8 % de CS
- Pulpa de remolacha con baja capacidad buffer requiere solamente entre 4 a 6% de CS para una buena conservación.

Como se mencionó, el otro elemento que juega un papel determinante en la cantidad de Carbohidratos solubles requerida, es la cantidad de MS del material. La figura 4 compara el efecto que tiene diferentes concentraciones de materia seca en un mismo material, alfalfa, sobre el pH final a los 60 días, con o sin la adición de glucosa como fuente de CS de adicionar carbohidratos solubles.

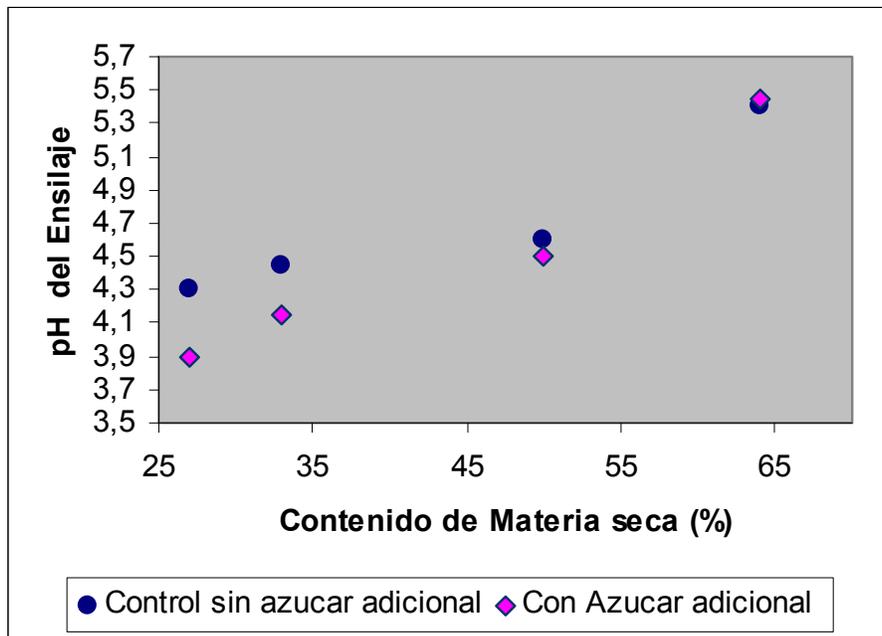


Figura 4. pH después de 60 días de fermentación de alfalfa con cuatro contenidos diferentes de materia seca, sin y con adición de glucosa del 7 al 12 % de la MS.

Fuente: Muck (1988)

De acuerdo a lo definido por Muck (1988), con ensilajes con mayor contenido de MS se tienen valores de pH más elevados, indicando que la fermentación que ocurre es menor que la que se presenta en ensilajes con menor contenido de MS. Igualmente señala que consecuente con lo anterior, la cantidad de CS requerida para una adecuada fermentación presenta una correlación negativa con el contenido de MS.

Melaza

La Melaza de caña (75 % MS) se ha utilizado hasta en niveles del 10 % del material, en ensilajes de forrajes tropicales; no obstante, el incremento permanente en su precio ha disminuido su inclusión a valores de 3 a 5 % (Sánchez, 2005)

Al suplir melaza de caña agregada a razón de 3 % (peso w/w, base fresca) al forraje de pasto elefante (12,9 % MS, 6,6 % CHS) se obtuvo un ensilaje con una calidad de fermentación relativamente buena, pero reduciendo la recuperación de nutrientes del ensilaje, comparado con los valores de ensilaje proveniente de forraje tratado con ácido fórmico. La misma dosis de melaza también produjo un aumento en la digestibilidad de MS *in vitro* para forraje de pasto elefante ensilado a 51, 96 y 121 días de crecimiento vegetativo. A forraje de pasto elefante enano (cv. Mott) cortado a los 72 días de rebrote (14,4 % MS, 7,1 % CHS) con alta capacidad tampón, se le agregó 4 % de melaza y se le ensiló en bolsas plásticas de 4 kg; su ensilaje dio valores más bajos para pH y para N amoniacal que el ensilaje control (Mühlbach, 2001).

Si no hay suficientes azúcares solubles o el contenido de materia seca (MS) en el alimento a ensilar es bajo, la acidificación puede no ser la suficiente para prevenir la fermentación indeseada en la cual el grupo de bacterias conocidas como *Clostridium* llega a ser significativa.

Según lo descrito por (Woolford, 1984; Keady, 1997), citados por Woolford (1998), en consenso para tener una influencia positiva sobre la fermentación se requiere una cantidad adicional de azúcares entre 20 a 40 Kg./t, lo que corresponde entre 2 al 4 % del total del material a ensilar.

Aditivos biológicos

Se considera que los inoculantes y las preparaciones de enzimas son productos naturales, sin riesgo en su manipulación, no corrosivos para los equipos y que no causan problemas ambientales. Consecuentemente, su uso se ha expandido apreciablemente en las últimas décadas. (Mühlbach, 2001)

Existe un creciente volumen de evidencia que muestra que los aditivos biológicos, particularmente aquellos que contienen bacterias acidolácticas, solas o suplementadas con enzimas sacarolíticas, siempre y cuando exista la cantidad apropiada de CS, producen un rápido descenso de pH. Esto a su vez permite un rápido descenso en las bacterias coliformes y por tanto se puede detener la proteólisis del alimento. Además las principales ventajas se han encontrado en el comportamiento productivo de los animales (Woolford, 1998).

Basado en una encuesta sobre estudios con inoculantes, Muck (1993) citado por (Mühlbach, 2001), concluyó que éstos eran exitosos principalmente con ensilajes de alfalfa y de pastos templados pero que con el ensilaje de maíz mostraban un efecto limitado. Sin embargo, Bolsen (1999) recomendó el uso de inoculantes bacterianos para todo tipo de forraje ensilado, basándose en resultados de más de 200 estudios de laboratorio y 28 ensayos en fincas, donde este tipo de aditivo mejoró consistentemente la eficiencia de la fermentación, la recuperación de la MS, la conversión alimentaria y el aumento de peso por tonelada de ensilaje de maíz y sorgo forrajero.

Según Muck (2002), citado por Sanchez (2005) los productores de inoculantes han desarrollado investigaciones complementarias para mejorar la estabilidad de los silos, trabajando con dos estrategias: obtener bacterias lácticas homofermentativas con capacidad de inhibir el crecimiento de levaduras que son las principales indicadores de los cambios indeseables y el calentamiento de los ensilajes durante su fase de alimentación a los animales y en segunda instancia inocular el forraje con *Lactobacillus buchneri* bacteria láctica heterofermentativa que incrementa el nivel de ácido acético, ya que el acético se ha comportado como un mejor inhibidor de levaduras que el ácido láctico

Mühlbach (2001), puntualiza que la adición de preparaciones de enzimas, solas o en combinación con inoculantes, se propone como una estrategia para aumentar el substrato

disponible y mejorar la fermentación láctica del ensilaje o para aumentar el valor nutritivo del forraje o ambos. En ensilajes de forrajes de clima templado producidos en condiciones subtropicales, una mezcla de inoculante/enzima (Sill-All®) mejoró la calidad de la fermentación de la avena forrajera (*Avena strigosa*) no marchita y redujo el contenido de NDF en alfalfa, marchita y no marchita. Las complejas interacciones que ocurren al agregar esta mezcla no se han explicado completamente y los resultados de ensayos previos fueron erráticos.

Los primeros productos se derivaron de complejos que contenían cantidades mal definidas, de diversas enzimas obtenidas de fermentaciones no muy elaboradas de hongos y los resultados fueron inconsistentes por la dosis de aplicación muy variables, especies de plantas, madurez de la planta y por el contenido de MS de los materiales.

Otros resultados de ensayos donde las enzimas fueron agregadas al ensilaje de maíz, presentan aspectos conflictivos, sin efectos claros sobre las características de la fermentación, a pesar de una reducción de contenidos de ADF, NDF, y hemicelulosa (Sheperd y Kung, 1996). Resultados positivos con el uso de celulasa en combinación con ácido orgánico han sido publicados en estudios de ensilaje de pastos forrajeros de climas templados (Nadeau *et al.* 1996).

Recientemente, algunas nuevas preparaciones de enzimas han regenerado el interés sobre el uso potencial de estos productos como aditivos que pueden facilitar la digestión del ensilaje y aumentar la producción de leche (Yang *et al.*, 1999; Schingoethe *et al.*, 1999).

En general cualquier aditivo pretende minimizar las pérdidas que se presentan durante la elaboración, la fermentación y su utilización en los animales. De acuerdo con lo reportado por Wiltins (2005), las principales fuentes de pérdidas son la fermentación, la oxidación y los efluentes:

Las pérdidas asociadas con fermentación anaeróbica son pequeñas. Una total fermentación homoláctica convierte los carbohidratos solubles a ácido láctico, sin ninguna pérdida en MS y con tan solo 1 % de pérdida de energía bruta de los carbohidratos solubles.

Cuando se presenta fermentación del lactado por *clostridium*, las pérdidas de MS y de energía bruta son del 51 % y el 18 % respectivamente. Cuando se expresan con base en

el total de la MS del forraje, estas pérdidas se reducen porque menos del 20 % de los componentes de los forrajes son usados como sustratos de fermentación.

Las pérdidas a través de oxidación son mucho más serias. Las oxidaciones de los CS que resultan por el oxígeno atrapado en el silo durante su elaboración son menos severas (0.3 % de la MS) que aquellas alcanzadas por el oxígeno que ingresa durante el almacenamiento (2 % por mes de almacenamiento). Estas pérdidas pueden representar una alta proporción de MS en silos pequeños en comparación con silos de gran tamaño y pueden incrementar con el aumento en la temperatura. En situaciones menos extremas el ingreso de aire determina el crecimiento de hongos en la superficie del silo generando productos tóxicos y bacterias patógenas tales como *Listeria monocytogenes* (Wilkinson, 1999).

Al final cuando los silos son abiertos para alimentar los animales ocurre una última pérdida aeróbica. La entrada de aire estimula la actividad de levaduras y bacterias, metabolizando CS, fermentación de ácidos e inclusive carbohidratos estructurales. El calentamiento tan alto en la superficie del silo indica la magnitud de las pérdidas, las cuales en condiciones extremas pueden alcanzar un 30 por ciento en un período de 10 días (Honig y Woolford, 1980), (Wilkins, 2005)

Las pérdidas por efluentes pueden alcanzar hasta un 10 % de los cultivos muy húmedos y son determinadas principalmente por el contenido de materia seca del material ensilado, por la densidad del material al igual que por la profundidad del silo. Entre más alto es el silo las pérdidas son mayores

3.3 VALORACIÓN INTEGRAL DE LA POTENCIALIDAD DE UN RECURSO ALIMENTICIO.

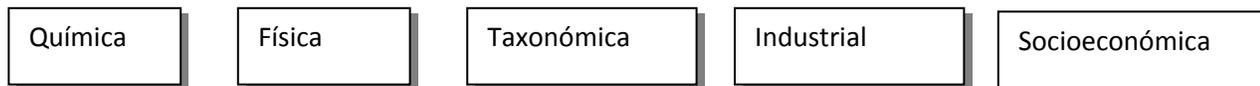
La figura 5 presenta el procedimiento de evaluación de la potencialidad de un recurso alimenticio el cual ha sido probado en diferentes escenarios, como es el caso del estudio de la canola como fuente estructural en la alimentación en Canadá.

Para el caso de la valoración de los carbohidratos y la proteína por su importancia dentro de la nutrición de rumiantes se aplicó el modelo de carbohidratos y proteínas neto de Cornell.

Figura 5. Esquema para la evaluación de ingredientes no convencionales

CADENA AGROALIMENTARIA

CARACTERIZACIÓN DE NIVEL I



CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA (NIVEL II)



FORMULACIÓN MÍNIMO COSTO (I)

Nivel de Aceptabilidad Teórico

ENSAYO DE ACEPTABILIDAD (I)



- ❖ Aditividad en formulación local
- ❖ Factores antinutricionales
- ❖ Factores Tóxicos

FORMULACIÓN MÍNIMO COSTO (II)

Nivel de Inclusión Real

CARACTERIZACIÓN DE NIVEL III: BIOLÓGICA

- ❖ Factores antinutricionales
- ❖ Factores Tóxicos

ENSAYO DE ACEPTABILIDAD (II)

FORMULACIÓN MÍNIMO COSTO (III)

Nivel de inclusión Comercial

Fuente: Afanador (2000)

3.3.1. Sistema de carbohidratos y proteínas de Cornell.

De acuerdo a lo señalado por Tylutki *et al.*, (2008) el sistema de carbohidratos y proteínas neto de Cornell es un modelo diseñado para evaluar dietas y el comportamiento animal para todas las clases de bovinos en una determinada situación de producción, basado en diferentes principios del funcionamiento del rumen, crecimiento microbial, digestión y pasaje del alimento y su estado fisiológico. A través de la definición de las características de la granja, el alimento y el medio ambiente se logra una mayor precisión en la predicción de los requerimientos nutricionales para mantenimiento, crecimiento, producción de leche y excreción de nutrientes en una gran diversidad de condiciones y situaciones posibles.

De otro lado Guada (1996) define el CNCPS (sistema de proteínas y carbohidratos netos de Cornell por su sigla en inglés) como un modelo mecanístico con varios niveles de agregación que, al igual que otros recientes sistemas de valoración europeos (ARC, 1980, 1984; INRA, 1978, 1988; AFRC, 1993) y americanos (NRC, 1985), permite predecir los rendimientos productivos del ganado vacuno a partir del contenido en ingredientes de su dieta. Pero, a diferencia de estos últimos, el CNCPS no está específicamente diseñado para la elaboración de dietas sino para comprobar la idoneidad de dietas previamente formuladas. Es decir, permite valorar la adecuación de una dieta previamente establecida para unas condiciones de producción determinadas. En este sentido, ofrece una detallada información sobre factores limitantes del metabolismo ruminal y adecuación del aporte de nutrientes, incluyendo aminoácidos limitantes, que puede resultar sumamente útil para valorar estrategias de formulación y elaborar hipótesis de trabajo.

El anterior autor resume los niveles de agregación que constituyen el modelo indicando que el sistema CNCPS está integrado por una serie de sub modelos que valoran respectivamente, el contenido en carbohidratos y proteína disponibles de la dieta (Sniffen *et al.*, 1992), los procesos de fermentación y síntesis de proteína microbiana (Russell *et al.*, 1992), las necesidades energéticas y proteicas del ganado vacuno (Fox *et al.*, 1992) y el aporte y necesidades de aminoácidos (O'Connor *et al.*, 1993). (Guada, 1996).

Russell *et al.*, (1992) realiza una descripción detallada del sub modelo de fermentación ruminal e indica que la población bacteriana se divide en dos, el primer grupo, las bacterias que fermentan carbohidratos estructurales y el segundo las bacterias que fermentan

carbohidratos no estructurales, igualmente señala que la calidad y cantidad de productos de la fermentación son dependientes del tipo y actividades de estos microorganismos y al a gran diversidad del microorganismos y sus interacciones en el ecosistema ruminal.

Sniffen *et al.*, (1992), presenta una descripción detallada del submodelo que predice las tasas de degradación del alimento en el rumen, el pasaje del alimento no degradado en el rumen, al tracto posterior y la cantidad de energía metabolizable y proteína metabolizable disponible para el animal.

Al sub modelo se le ha incorporado la posibilidad de predecir la producción y absorción de AGV y mejorar la estimación del pH ruminal (Pitt *et al.* 1996).

Fraccionamiento de Nutrientes

El CNCPS emplea una metodología de análisis de alimentos que define fracciones de acuerdo a su comportamiento en el rumen (Pazzanese *et al.* 2002), de esta forma clasifica las distintas fracciones que forman los carbohidratos y las proteínas según su degradabilidad ruminal, y se determina para cada alimento según la técnica de producción de gas (Pell y Schofield, 1993).

El anexo 1 señala un esquema general de la metodología de valoración de la calidad nutritiva aplicada en el presente trabajo, con especial énfasis en el sistema de fraccionamiento, e identifica los principales elementos de los protocolos utilizados.

3.3.2. Fracciones de Carbohidratos

Según lo descrito por Sniffen *et al.* (1992) en el sistema CNCPS los carbohidratos incluyen un amplio grupo de compuestos que químicamente son hidroxialdehidos o hidroxiacetonas y sus derivados, dividiéndose de la siguiente manera:

Lignocelulosa ó lignocarbohidratos (calculados como 2.4 x LAD): no utilizable por los rumiantes.

Carbohidratos estructurales disponibles para la flora ruminal (calculados como FND 2.4 x LAD): la degradabilidad de esta fracción oscila entre el 50 75%, dependiendo de cada

alimento en particular; el resto pasa al intestino grueso, donde los microorganismos ruminales fermentan el 20% de estos carbohidratos.

Polisacáridos no estructurales: cuya degradabilidad ruminal es del 90 al 100% (excepto en el caso del maíz que es del 75 al 80%); el resto pasa al intestino delgado donde son prácticamente degradados y absorbidos en su totalidad.

El CNCPS valora el aporte de energía al rumen en términos de carbohidratos estructurales y no estructurales. Los carbohidratos estructurales corresponden a la fibra detergente neutro (FND), ajustada por la ecuación $N_2 \times 6.25$; mientras que los carbohidratos no estructurales (azúcares, almidón, fructosa, galactosa, pectinas y β glucanos) son estimados por diferencia entre la materia orgánica menos carbohidratos estructurales, proteína y extracto etéreo. Cada una de estas fracciones estructurales y no estructurales, se define como un conjunto heterogéneo de compuestos, por lo que se subdividen en 4 fracciones de acuerdo a su degradabilidad. (Sniffen *et al.* 1992)

Cada fracción tiene una tasa de degradación (kd), característica del alimento, con una estimación de tiempo y un ritmo fraccional de tránsito (kp), que permite estimar la proporción de cada fracción que es degradada en el rumen ($kd/(kd+kp)$); y lo evacuado sin ningún tipo de degradación ($kp/(kd+kp)$) (Sniffen *et al.* 1992).

El contenido de la dieta en energía metabolizable (EM) o energía neta (EN), utilizados por el hospedador, se estima a partir de su contenido en nutrientes digestibles totales (TDN). El modelo calcula, a su vez, este último como la diferencia entre el contenido y la excreción fecal de residuos indigestibles de origen alimenticio no degradado en el rumen o de origen microbiano (Fox *et al.*, 2002).

3.3.3. Fracciones de Proteínas.

El sistema Cornell Net Carbohydrate y Protein System (CNCPS), es una versión mejorada del sistema NRC, del que se diferencia en la forma en que son calculadas las cantidades de proteína by pass, proteína microbiana y nutrientes digestibles (TDN) que llegan al intestino. El fraccionamiento de proteína, solo se estableció a partir de 1996 (Licitra *et al.*,

1996) mediante la separación de los compuestos nitrogenados por solubilización, precipitación y filtrado (Arreaza, 2002).

Según lo descrito por Sniffen *et al* (1992) en el sistema CNCPS distingue las siguientes fracciones:

(A): Nitrógeno no proteico; se transforma totalmente a amoníaco en el rumen; además, se recicla nitrógeno por la saliva y las venas ruminales cuya cuantía se estima como el 15% del nitrógeno ingerido.

(B1): Proteína verdadera soluble; cuyos aminoácidos se liberan prácticamente en su totalidad en el rumen.

(B2): Proteína verdadera insoluble no ligada a la FND; cuya utilización ruminal es del 70 - 85%; el resto pasa al intestino delgado donde es completamente digerida

(B3): Proteína verdadera ligada a la FND; cuya utilización ruminal es del 10 - 25%, por acción enzimática (pepsina, tripsina, quimiotripsina, carboxipeptidasa y aminopeptidos); el resto pasa al intestino delgado donde las proteasas intestinales digieren el 80% de esta proteína.

(C): Proteína verdadera ligada a la FAD; no utilizable por los rumiantes

En general en el CNCPS, se diferencian tres fracciones nitrogenadas: el nitrógeno no proteico (fracción A), que es utilizado exclusivamente en forma de NH₃, la proteína verdadera potencialmente degradable (fracción B) y la proteína no degradable e indigestible en el intestino, por estar ligada a la fibra detergente ácido (fracción C). A su vez, la fracción B se subdivide en tres, las cuales se caracterizan por su diferente ritmo de degradación.

4. MATERIALES Y METODOS.

Para abordar en forma sistémica la problemática planteada en las justificación y desarrollar los objetivos propuestos en el proyecto se aplicaron diversos procedimientos cada uno acompañada de su correspondiente metodología que permitió en forma organizada evaluar cada uno de los componentes a diferentes niveles para obtener el conocimiento suficiente de las características generales, ventajas y desventajas del recurso evaluado

Se aplicó como metodología general la empleada por los canadienses en la obtención y posicionamiento de la canola como materia prima estructural en la formulación y elaboración de alimentos balanceados, la cual ha sido adaptada y mejorada como propuesta para Colombia por Afanador (2000) La figura 5 presenta el esquema general de evaluación de ingredientes no convencionales.

Se trabajó por niveles, avanzando en el conocimiento de los subproducto, realizando las caracterizaciones de la calidad , pasando luego por ensayos de aceptabilidad teorico hasta encontrar todos los elementos técnicos, economicos y de mercado que son necesarios para optimizar el uso de este subproducto.

4.1. CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL DE NIVEL I

4.1.1. Caracterización química:

El análisis de la composición nutricional de los subproductos de mango se utilizaron las siguientes técnicas de laboratorio: Materia seca (MS), Proteína cruda, bruta o total (PC), AOAC, (2003). Las fracciones de carbohidratos A (Azucares y ácidos orgánicos, B1 (Almidón y pectinas), B2 (FDN) y C (Fibra indigestible) se determinaron de acuerdo a la técnica propuesta por Van Soest (1994). Para las fracciones de proteínas: Nitrógeno no proteico (NNP), proteína insoluble en detergente neutro (PIDN); Proteína insoluble en detergente ácido (PIDA), por la técnica propuesta por Licitra *et al.* (1996) y lignina Van Soest, (1991).

El anexo 1 señala un esquema general de la metodología de valoración de la calidad nutritiva aplicada en el presente trabajo e identifica los principales elementos de los protocolos utilizados.

Los subproductos agroindustriales de mango fueron obtenidos de la Empresa Frucol Ltda localizada en el municipio del Espinal del departamento del Tolima

Se recolectaron las siguientes muestras:

- A. Cáscara de mango variedad Tommy Atkins: dos muestras en diferente día de proceso.
- B. Semilla de mango variedad Tommy Atkins: dos muestras
- C. Cáscara de mango variedad Keitt: dos muestras
- D. Semilla de mango variedad Keitt: dos muestras

4.1.2. Caracterización Taxonómica.

La identificación taxonómica de las variedades de mango fue realizada por expertos del Grupo Interdisciplinario de Investigación en Fruticultura de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, Centro de Investigación Nataima. La exactitud de la variedad de mango utilizada fue posible, dado que la materia prima de la empresa Frutol procede de cultivos propios, lo que garantizó la identificación de las variedades en el cultivo e industrialmente.

4.1.3. Caracterización Industrial y Socioeconómica

Para la caracterización industrial y socioeconómica se desarrollaron dos procedimientos el primero fue búsqueda y análisis de información sobre la disponibilidad actual y potencial de los recursos, desde la perspectiva de transformación agroindustrial del mango

El segundo procedimiento fue la cuantificación de los rendimientos de pulpa, cáscara y semilla para lo cual se realizaron tres ensayos con la variedad Tommy Atkins en cada uno de los cuales se registró el peso inicial completo de 6 unidades, posteriormente se realizó el pelado y obtención de la semilla registrando el peso individual de cada uno de los subproductos. Los rendimientos fueron estimados en fresco, posteriormente las muestras

fueron secadas en estufa a 65 ° C. hasta peso constante, para la obtención de la Materia seca y con este valor se estimaron los rendimientos de semilla y cascara en términos de materia seca.

4.2. CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA (NIVEL II)

Dentro de la caracterización biológica de segundo nivel se realizaron las siguientes pruebas.

4.2.1. Energía

El análisis de Energía Bruta, se realizó en el laboratorio de Nutrición animal de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, UDCA, utilizando una bomba calorimétrica automática de marca Ika, referencia 880300 modelo C- 5000 aplicando la técnica descrita en AOAC (1980)

De acuerdo con el reportado Church et al. (2002) la energía se cuantifica utilizando bombas adiabáticas por el aumento de la temperatura de una cantidad de agua conocida por la oxidación completa de una muestra de peso conocido.

Los valores de Energía digestible (ED), Energía metabolizable (EM), Energía neta de lactancia (ENL), Energía neta de mantenimiento y Energía neta de ganancia fueron estimados aplicando las ecuaciones propuestas por la NRC (2001) a partir de la composición de nutricional de cada uno de los subproductos.

4.2.2. Degradabilidad *in sacco* de la MS

Para los análisis de degradabilidad de la materia seca se aplicó la técnica de degradabilidad *in sacco* propuesta por Orskov y McDonald (1979) para lo cual se pesaron muestras de 3 g, de cada uno de los materiales en evaluación (a. semilla y b. cáscara, por separado y c. residuo industrial completo (cáscara más semilla mezclados, tal como se obtiene del procesamiento) y se incubaron por triplicado en bolsas de poliéster

Ankom® de 20 x 10 cm y poro de 53 micras (Bar Diamond Inc, Parm ID, USA) durante 48 horas, dentro del rumen de vacas Holstein secas no gestantes mayores de 60 meses, alimentadas con pasto kikuyo en pastoreo rotacional y suplementadas con sal mineral al 8 %.

Para determinar la degradabilidad total de MS y proteína a las 48 horas y la cinética de la degradación se utilizaron muestras por triplicado para las siguientes horas de incubación: 0, 3, 6, 24, 48, 72 h. Posterior a la incubación las bolsas se lavaron con agua corriente hasta la no aparición de turbidez. Posteriormente, se lavaron con solución en detergente neutro, para desprender las bacterias y partículas del rumen, de acuerdo a Van Soest (1994), luego se secaron en horno a 65 °C por 48 horas, se enfriaron en desecador, y se pesaron en balanza analítica.

Para establecer la cinética de degradación de la Materia seca se utilizó el software Fit curve NEWAY®

4.2.3. Determinación de taninos y saponina.

Para determinar la presencia de factores antinutricionales, saponinas y taninos en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad de Ciencias Aplicadas y ambientales se realizaron las pruebas fitoquímicas de acuerdo con el protocolo propuesto por Larrahondo (1985). Por duplicado para cada uno de los residuos en evaluación se tomaron 10 g de la muestra en un mortero y se añadieron 30 ml de éter de petróleo y 30 ml de una mezcla 9:1 metanol-agua. Se maceró la muestra. Posteriormente en un embudo de separación se dejó en reposo hasta la formación de dos capas. La capa del fondo es la formada por metanol-agua y es la fracción polar. La capa no polar es la conformada por el éter. Se separaron las dos capas mediante un embudo.

Saponinas: Se tomó 1 ml de la fracción de metanol y se añadieron 9 ml de agua. Se filtró la solución. Se tomó 1 ml de este filtrado en un tubo de prueba pequeño, se agitó vigorosamente por 30 segundos y se dejó en reposo durante 15 minutos. La espuma sobrenadante indica la presencia de saponinas. La proporción de saponinas se midió de acuerdo a la altura de la espuma sobrenadante:

Altura de menos de 5mm = prueba negativa.

Altura de 5-9mm = contenido bajo.

Altura de 10-14mm = contenido moderado

Altura mayor de 15mm = contenido alto

Para el caso de taninos se tomó 1 ml de la fracción de metanol y se añadieron 1 ml de cloruro férrico, para evidenciar cambio de color. En donde presencia de coloración azul evidencia que hay presencia de taninos

4.2.4. Determinación del nivel de aceptabilidad teórico. Simulación ex ante

La simulación ex ante a través de la aplicación del modelo mecanístico de carbohidratos y proteínas netos de Cornell, permitió determinar el nivel de aceptabilidad teórico y los principales cambios y efectos a nivel ruminal y posible respuesta animal con la suplementación con los residuos de mango. Se aplicó el programa “*Cornell Net Carbohydrate and Protein System*” versión 6.1.27. CNCPS (2008). Se utilizó información de la Finca Villa Nataly, un sistema de producción animal de lechería especializada en Trópico alto en la Localidad de Usme, D.C. debido a que se contaba con información precisa del medio ambiente, características de los animales y seguimiento de producción y calidad de leche y principalmente con información de la calidad de las pasturas las cuales fueron evaluadas aplicando el sistema de fraccionamientos de proteínas y carbohidratos obtenida en la ejecución de un proyecto de investigación con sistemas silvopastoriles de sombra con aliso en los cuales los árboles tenían una distribución espacial 10 x 5 (10 m entre surcos y 5 m entre árboles).

4.3. EVALUACIÓN DE PROCESOS DE ENSILAJE

Para la evaluación y establecimiento de un sistema de conservación por fermentación se utilizó la técnica de micro-silos (LSS) por sus siglas en ingles laboratory - scale silos. Ésta técnica ha sido ampliamente utilizada por diversos investigadores para evaluar sistemas de fermentación de pastos y forrajes, subproductos agroindustriales y otros recursos alimenticios (Winters *et al* 2000; Betancourt *et al.* 2003)

Se realizaron dos ensayos con microsilos, el primero de ellos en bolsa de polietileno y el segundo en microsilos de PVC. El cambio del tipo de material de los contenedores del ensilaje, obedeció a la mayor facilidad de llenado, sellado, manipulación, disposición y embalaje de los microsilos de PVC, en comparación con las bolsas de polietileno.

Para el ensayo con bolsas, estas fueron de polietileno con calibre 6 y el tamaño de 20 x 30 cm.

Cada uno de los tubos de PVC, fueron de 4 pulgadas por 45 cm de longitud, con tapa rosca para llenado, válvula de escape conectada a una manguera con desfogue a una columna de agua que permitía el escape de gases pero no el ingreso de oxígeno. Ver anexo 4.

Los experimentos se desarrollarán en el Centro de Investigación Nataima de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, situado en el departamento de Tolima Municipio del Espinal, agro ecosistema bosque seco tropical con una altura promedio de 431 msnm, temperatura promedio de 28 °C, humedad relativa de 70 % y precipitación anual de 1288 mm. La conservación de los silos se realizó bajo sombra permanente.

4.3.1. Ensayo 1. Bolsa de polietileno.

En este ensayo se analizó el efecto del tiempo, carbohidratos solubles añadidos y el uso de inoculantes, para lo cual se estableció un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial, correspondientes a cuatro tiempos, tres niveles de azúcares solubles como aditivos y tres niveles de inoculantes de bacterias y enzimas, con tres replicas por cada tratamiento.

Los factores con sus correspondientes niveles fueron:

- a. Factor tiempo, con cuatro niveles , 0, 10, 20 y 40 días de fermentación anaeróbica
- b. Aditivos con azúcares solubles (melaza) en niveles de 0, 2,5 y 5%.
- c. Inóculo de bacterias ácido lácticas y enzimas en niveles de 0, 0,005 y 0,01%

Modelo

El modelo de regresión planteado para estimar cuáles son los factores que afectan la calidad nutritiva y predecir la desviación de las variables respuesta fue un modelo lineal múltiple con interacción, de la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + \epsilon$$

Donde: Y: Variable respuesta en evaluación (ejemplo pH, Nitrógeno amoniacal, etc.) en sus unidades correspondientes

β_0 : Media

β_1 : Coeficiente correspondiente al factor tiempo de fermentación anaeróbica

β_2 : Coeficiente correspondiente al factor cantidad de azúcar soluble como aditivo

β_3 : Coeficiente correspondiente al factor cantidad de inoculo de bacterias ácido lácticas y enzimas

β_{123} : Coeficiente correspondiente a la interacción entre tiempo de fermentación , el aditivo de azucares solubles y el inoculo de bacterias ácido lácticas y enzimas.

Usualmente los parámetros desconocidos β_i se denominan coeficientes de regresión

ϵ : constituye la componente aleatoria del modelo. Representa el efecto de aquellos factores que no se han tenido en cuenta en la experimentación o el efecto de aquellos presentes en el estudio pero que no se han podido estar adecuadamente con el modelo seleccionado.

El modelo se diseñó con el fin de evaluar tres principales factores los cuales de acuerdo a la literatura afectan los procesos de fermentación de los ensilajes y la calidad nutritiva de los mismos

a. Tiempo: Unidad de medida días de fermentación anaeróbica.

b. Uso de Carbohidratos solubles para favorecer la fermentación.

Para este caso se utilizó melaza (medido como porcentaje (%) del total del peso fresco del silo en preparación) La selección de esta fuente de carbohidrato fue por su uso generalizado a nivel nacional e internacional

c. Uso de inoculantes

Se avaluó una mezcla de bacterias ácido lácticas y enzimas, sil- all ® de la empresa Alltech) El tipo de bacterias y la composición del producto es:

Lactobacillus plantarum 4.5 x 10¹⁰ UFC/g.

Pediococcus acidilactici 4.4 x 10¹⁰ UFC/g.

Streptococcus faecium 1.0 x 10¹⁰ UFC/g.

Amilasas 2000 BAU/g.

Hemicelulasas 4 XU/g.

Pentosanases 200 XU/g.

Variables

a. pH. Como indicador del nivel de acidificación de los micro-silos medido con potenciómetro digital (Hanna instrument) con dos cifras decimales.

- b. Nitrógeno amoniacal y su relación con el nitrógeno total. Medidos en el material fresco, recién abierto el silo. Las unidades para los dos tipos de nitrógeno fueron en mg. /100. El nitrógeno amoniacal 10 g de muestra se solubilizan en 50 ml de agua destilada, con agitación por dos horas, Una alícuota de 5 ml del sobrenadante se destilaron por el método Kjeldahl y fueron se titulados. Para nitrógeno total: 0.2 g de muestra fresca, fueron sometidos al método Kjeldahl (digestión, destilación y titulación)
- La relación de la cantidad de nitrógeno amoniacal con respecto a la cantidad del nitrógeno total, en %.
- c. Porcentaje de Materia seca de los materiales antes y después de ensilados.
- d. Olor y color. Se registrará el olor y color de los diferentes microsilos como variables cualitativas del proceso de fermentación.

Supuestos del modelo:

Se parte de unos supuestos en el modelo los cuales fueron verificados con el fin de comprobar la idoneidad del mismo:

- a. El valor esperado de la componente aleatoria debe ser igual a cero**

$$E(\epsilon) = 0$$

Al ajustar cualquier modelo lineal, el análisis de los residuos del modelo de regresión es necesario para determinar la idoneidad del modelo (Montgomery, 1991)

- b. La varianza de la componente aleatoria debe ser constante**

$$V(\epsilon) = \text{Varianza} = \text{constante}$$

- c. La correlación de la componente aleatoria debe ser cero**

$$\text{Correlación } \epsilon_i; \epsilon_j = 0$$

- d. La componente aleatoria debe corresponder a una distribución normal**

El análisis residual se hace para verificar los supuestos del modelo

4.3.2. Ensayo 2. Microsilos de PVC

En éste ensayo se incluyó la evaluación del efecto del aumento del porcentaje de materia seca en el ensilaje con la adición de Harina de Arroz en diferentes porcentajes de inclusión. Para lo cual se estableció un diseño experimental completamente al azar con

arreglo factorial, correspondientes a dos tiempos (0 y 35 días) , tres niveles de inclusión de harina de arroz (0, 15 y 30 %), con tres replicas por tratamiento.

Los factores con sus correspondientes niveles fueron:

- a. Tiempo: Unidad de medida días de fermentación anaeróbica. 0 y 35 días de fermentación
- b. Adición de harina de arroz en niveles de inclusión de 0, 15 y 30 %

Modelo.

El modelo de regresión planteado para estimar cuáles son los factores que afectan el proceso de fermentación, la desviación de las variables, fue un modelo lineal múltiple con interacción, de la forma

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_{12} * X_1 * X_2 + \epsilon$$

Donde:

Y: Variable respuesta en evaluación (ejemplo pH, Nitrógeno amoniacal, etc.) en sus unidades correspondientes

β_0 : Media

β_1 : Coeficiente correspondiente al factor tiempo de fermentación anaeróbica

β_2 : Coeficiente correspondiente al factor cantidad de azúcar soluble como aditivo

β_{12} : Coeficiente correspondiente a la interacción entre tiempo de fermentación y la adición de Harina de arroz.

Usualmente los parámetros desconocidos β_i se denominan coeficientes de regresión

ϵ : constituye la componente aleatoria del modelo. Representa el efecto de aquellos factores que no se han tenido en cuenta en la experimentación o el efecto de aquellos presentes en el estudio pero que no se han podido estar adecuadamente con el modelo seleccionado.

Variables

Se utilizaron como variables control las mismas del ensayo 1.

Supuestos del modelo:

Se verificaron los mismos supuestos del modelo del ensayo 1

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL (NIVEL I).

5.1.1. Caracterización química.

La tabla 11 presenta los resultados de la calidad nutricional de la cáscara y la semilla por separado de las dos variedades evaluadas. Son pocos los trabajos de evaluación de la calidad nutritiva de los subproductos de mango.

Tabla 11. Análisis proximal de la semilla y cáscara en las variedades Tommy atkins y Keitt

Variable	Tommy atkins		Keitt	
	Cáscara	Semilla	Cáscara	Semilla
Materia seca (%)	21.5 ± 0,04	33.09 ± 0.2	19.1 ± 0,31	26.7 ± 2.15
Proteína (%)	2.42 ± 0,64	4.67 ± 0,16	1.84 ± 0,36	2.83 ± 0,43
Extracto etéreo (%)	1,68 ± 0,36	5,44 ± 1,12	2.25 ± 0.43	3.0 ± 0.71
Cenizas (%)	2.63 ± 0.40	2.95 ± 0.26	3.76 ± 0.42	2.75 ± 0.28

Promedio ± error estándar. Todos los valores expresados en Base seca (100 % de Materia seca)
Valores correspondientes a dos muestreos, analizados por duplicado

Materia seca

Los contenidos de materia seca en la semilla fueron superiores a los de la cáscara en la dos variedades evaluadas. Para el caso de la semilla los valores fluctuaron entre 24 al 34 % mientras que para la cáscara, se identificaron valores entre 18 y 22 %. Estos valores revisten importancia desde el punto de vista de contenido de nutrientes dado que los aportes nutricionales del recurso aumentan en la medida que el material suministrado presente mayores valores de materia seca, igualmente, éstos influyen en los procesos de conservación. Los contenidos de materia seca están dados por las diferencias en los contenidos de agua, lo que a su vez es determinante en el crecimiento de los microorganismos y por ende de los procesos de conservación como el ensilaje. De acuerdo con Wilkins (2005), el crecimiento de los *clostridium* como principales responsables de la putrefacción de los ensilajes son más sensibles a la actividad del agua que las bacterias acidolácticas y es un factor que influye más en el crecimiento de estos

microorganismos que el mismo pH.

Ribeiro *et al.* (2006) evaluó la calidad nutritiva de la semilla de mango como recurso para la alimentación animal en especial para rumiantes y encontró que los niveles de materia seca de esta fracción fueron en promedio de 17.4 %, valores que pueden considerarse inferiores a los encontrados en el presente trabajo. Igualmente, este autor señala que las principales discrepancias en la composición bromatológica de los subproductos de las frutas, entre los diversos autores, están asociadas a las diversas formas de procesamiento, ya que las industrias pueden tener diferentes propósitos (jugo, pulpas, dulces, extractos entre otros) o diferentes formas de obtención del producto (prensas mecánicas, hidráulicas u otras).

Los contenidos de materia seca en la cáscara de la variedad Tommy atkins, en promedio 21.5 % fueron superiores a los encontrados en la variedad Keitt con valores de 19.1 %.

Para el caso de la semilla, Abdalla *et al.* (2007) evaluó la composición nutricional de la nuez de la semilla de variedades de mango en Egipto y encontró que los tenores de materia seca fueron en promedio de 40.8 %. Éste reporte es superior a lo encontrado en el presente trabajo, probablemente debido a que no se incluyó en el análisis, la cobertura de la nuez lo que genera las diferencias en los resultados.

El contenido de materia seca de la semilla fue superior en la variedad Tommy en comparación con la variedad Keitt, 39 % vs 26 %, respectivamente. Como se mencionó anteriormente esto influye en la cantidad de nutrientes totales consumidos. Igualmente a menor contenido de humedad en el material se puede obtener mayores consumos del subproducto por parte de los animales.

En general los contenidos de materia seca de los subproductos procedentes de la industrialización de la variedad Tommy atkins fueron de mayores que los procedentes de la variedad Keitt. De acuerdo con lo manifestado por Ribeiro *et al.* (2006), los valores altos de humedad en algunos subproductos de frutas, es uno de los principales factores limitantes para su utilización en nutrición animal, ya que para su implementación se requieren métodos conducentes a disminuir ese contenido de humedad, como el de deshidratación o desarrollar procesos de conservación por fermentación como los

ensilajes. En localidades de clima seco la deshidratación ha sido el procedimiento más utilizado para la conservación de los residuos de frutas Rogerio (2005) citado por Ribeiro (2006).

Proteína total

En general los contenidos de proteína total fueron superiores en la semilla, en relación con la cáscara en las dos variedades evaluadas. La variedad Tommy atkins con un promedio de 4.67 %, presentó el mayor porcentaje de proteína en la semilla mientras que la variedad Keitt reportó un promedio de 2.83 % (tabla 11) Estos valores encontrados, son muy bajos en comparación con los reportados en la literatura; Abdalla *et al.* (2007) reporta porcentajes de proteína de 6.7 % para la nuez del mango con las variedades zebda, balady y de azúcar obtenidas en el ámbito agroindustrial en Egipto.

Los tenores de proteína en la cáscara fueron en promedio de 2.42 % para la variedad Tommy, en relación con la variedad Keitt 1.84 % (Tabla 11). Los contenidos de éste nutriente en las dos variedades evaluadas son bajos en relación con lo encontrado en la literatura. En Brasil, Ribeiro *et al.* (2006), aunque no identifica la variedad del mango, manifiesta que los contenidos de proteína en la cáscara de mango son en promedio de 4.9 %, identificando los subproductos de mango, como ingredientes de alto potencial en la alimentación de rumiantes, pero con bajo tenor de proteína.

Los contenidos de proteína cruda o proteína total, para los dos tipos de subproductos semilla y cáscara en las dos variedades evaluadas fueron bajos en comparación con los requerimientos de éste nutriente en un animal rumiante en producción, lo cual, en el reconocimiento de la potencialidad del recurso, se presenta como una debilidad, que debe ser contrarrestada en los procesos de diseño de dietas para este tipo de animales.

De acuerdo con DePeters *et al.* (1997), citado por Eroarome (2000), en dietas para rumiantes, los subproductos agroindustriales, pueden aportar para el crecimiento y la lactancia, con la consecuente obtención de alimentos de buena calidad como carne y leche para consumo humano; sin embargo, la gran mayoría de éstos tienen un bajo contenido de nitrógeno, alto contenido de fibra y baja densidad de nutrientes, problemas

identificados que deben ser superados con un efectivo manejo en el procesamiento y en el diseño de dietas completas.

No obstante, los bajos contenidos de proteína, los reportes de la literatura muestran a los subproductos de mango y en especial la nuez de la semilla como un recurso alimenticio que posee un perfil de aminoácidos de excelente calidad; Diaz y Coto (1983), Shahinaz (2001), todos citados por Abdalla (2007) señalan a la semilla de mango como un subproducto con alto contenido de los aminoácidos esenciales en especial con elevados niveles de leucina, valina y lisina. De otro lado, este mismo autor reporta que encontró en éste subproducto todos los aminoácidos esenciales, en cantidades superiores a los referentes recomendados por la FAO/WHO, FAO (1993) a excepción de la metionina, treonina y tirosina.

Extracto Etéreo

Al comparar los niveles de extracto etéreo entre los dos residuos evaluados, se encontró que la semilla reportó valores superiores a los de la cáscara, ésta fue una constante en las dos variedades estudiadas.

Para el caso de la semilla los resultados del presente estudio muestran a la variedad Tommy atkins con mayores tenores de grasa 4.65 % a diferencia de la variedad Keitt que reportó valores de 3.0 %.

Los valores de extracto etéreo en la semilla de mango identificados en la literatura son superiores a los encontrados en el presente trabajo, Abdalla (2007) reporta contenidos promedios de lípidos totales de 12 % en la nuez, de la semilla de mango; la discrepancia con los resultados, posiblemente está en la exclusión de la envoltura de la nuez que se puede caracterizar como de mayor contenido de fibra y menor de grasa. Éste mismo autor, puntualiza que sus resultados fueron muy superiores a los de otras publicaciones como los datos reportados por Yourssef (1999), argumentando posibles diferencias por el tipo de variedad evaluada.

La cáscara reportó valores promedios de extracto etéreo de 1.93 % y 2.25 % para las variedades Tommy y Keitt respectivamente. Estos valores están en correspondencia con

la literatura, que identifica cantidades promedias de extracto etéreo de 1.4 % en la cáscara de mango, como desecho industrial en Brasil, (Ribeiro, 2006).

Es importante señalar que de acuerdo con lo reportado por Abdalla (2007), del total de lípidos presente en la semilla de mango el 97.4 % corresponden a lípidos neutros y dentro de ellos se destacan los triacilgliceroles 88.4 %. Igualmente, reporta niveles de fosfolípidos de 3.6 % y glicolípidos de 1.6 %.

Caracterización sistema CNCPS

El sistema de carbohidratos y proteínas neto de Cornell (CNCPS) asume que los alimentos están compuestos de proteína, carbohidratos, grasa y agua. Las proteínas y los carbohidratos los subdivide en diferentes fracciones de acuerdo a: la composición química, características físicas y la degradación en el rumen y las características de la digestibilidad postruminal. Sniffen *et al* (1992)

No fueron encontrados reportes de fraccionamiento de proteínas y son escasos los valores de caracterización de carbohidratos, por ello los valores encontrados en el presente trabajo, son analizados a la luz de los reportes de dos autores y como estrategia adicional son comparados con otros recursos alimenticios de los cuales se encuentra información disponible, principalmente en lo que hace referencia a fracciones de proteínas y carbohidratos.

Carbohidratos

De acuerdo a lo expresado por Doane *et al* (1998), el CNCPS Sistema de Carbohidratos y Proteínas Netos de Cornell y el nivel dos del modelo de ganado de carne de la National Research Council, NRC (1996), los aportes energéticos y proteicos de la dieta en el animal, se predicen a través del análisis químico de los alimentos, en especial con los carbohidratos y las tasas de digestión y pasaje de los mismos.

La tabla 11 presenta los resultados del análisis químico de los carbohidratos, inicialmente, identifica los valores de los componentes del análisis que sirvieron para valorar las diversas fracciones tales como: Fibra en detergente neutro (FDN), Fibra en

detergente ácido (FDA), lignina, residuo insoluble en Etanol (RIE) con sus correspondientes ajustes en materia orgánica (MO) y por proteína, de acuerdo con las metodologías propuestas por Hall *et al* (1997), Doane *et al* (1998) y Van Soest *et al* (1991). Finalmente esta misma tabla, señala las fracciones de carbohidratos de acuerdo con el esquema propuesto por el CNCPS, las cuales fueron calculadas a partir de los anteriores indicadores.

Del total de nutrientes de los residuos de mango, cáscara y semilla, se destaca como principal componente a los carbohidratos totales, con un mínimo de 86 % para el caso de la semilla en la variedad Keitt y un máximo en la cáscara de la variedad Tommy atkins, con 91 %. Esto refleja la importancia de diferenciar y cuantificar los hidratos de carbono, ya que el principal aporte nutricional de los residuos de mango se centra en ellos.

Tabla 12. Carbohidratos de acuerdo al modelo CNCPS en los residuos de mango, cáscara y semilla, de las dos variedades evaluadas.

FRACCIÓN	Tommy Atkins		Keitt	
	Cáscara	Semilla	Cáscara	Semilla
FDN (% MS)	18.3	39.6	28.3	43.3
FDA (%MS)	3.7	8.3	15.8	22.5
PIDN (%MS)	1.0	1.5	1.7	1.6
PIDA(%MS)	0.4	0.5	1.0	1.4
Lignina (%MS)	2.4	4.4	7.9	9.0
lignina (%FDN)	0.5	0.9	4.4	4.7
RIE (%MS)	22.0	45.0	32.0	48.0
RIE MO	22.0	45.0	32.0	48.0
RIE CP	0,0	0,0	0,0	0,0
EE (% MS)	1.7	5.4	2.3	3.0
Total Carbohidratos CHO (%MS)	91.5	86.4	90.9	89.8
CNE (% CHO)*	80.4	55.9	71.7	54.0
Fracción A (% CHO)	73.0	45.0	63.2	44.0
Fracción B1 (% CHO)	7.4	10.9	8.5	10.0
CS (%CHO)**	19.6	44.1	28.3	46.0
Fracción C (%CHO)	0.2	1.0	3.3	5.3
Fracción B2 (%CHO)	19.4	43.1	25.0	40.6

FDN: Fibra en detergente neutro; FDA: Fibra en detergente ácido; PIDN Proteína insoluble en detergente neutro; PIDA: Proteína insoluble en detergente ácido; RIE: Residuo insoluble en etanol (80/20) , MO materia orgánica; PC: Proteína cruda.

*CNE: Carbohidratos no estructurales, calculados a partir de la valoración del RIE y FDN de acuerdo a Hall *et al* 1997 y Doane *et al* (1998)

** CS. Carbohidratos estructurales, calculados de acuerdo Van Soest *et al* (1991)

Fibra en detergente neutro (FDN).

Según lo expresado por Van Soest (1991), el FDN mide la fibra insoluble en los alimentos e incluye la celulosa, hemicelulosa y lignina como parte de la matriz de la pared celular. El medir esta fracción permite identificar los carbohidratos de lenta degradación en el rumen. La semilla presentó mayores niveles de FDN que la cáscara y a su vez la variedad con mayor cantidad de FDN fue la Keitt.

Mertens (1994) citado por NRC (2001), sugiere que la fibra en detergente neutro puede ser usada para definir los límites inferiores y superiores del consumo de alimento en materia seca, de los rumiantes. Cuando los alimentos presentan una alta proporción de FDN llenan rápidamente el rumen y por tanto limitan el consumo de alimento. Allenn (2000) citados por el mismo autor, al analizar 15 estudios, muestran una disminución en el consumo de alimento, al incrementar el FDN en valores superiores al 25 % en la dieta total.

En general, altos valores de FDN se identifican en pastos y se incrementan al aumentar la edad de corte o pastoreo. Al igual, se ha reportado que los pastos tropicales contienen mayor cantidad de FDN que los forrajes de zonas templadas. Arreaza *et al.* (2004) identifican valores promedios de FDN para los principales forrajes utilizados en la alimentación de rumiantes en Colombia, señalado valores de: 52 % para el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) en trópico alto y 53 % para *Braquiaria decumbens* y 69 % para Colosuana (*Bothriochloa pertusa*), los dos últimos en tópico bajo. Las anteriores características hacen que los residuos de mango, cáscara y semilla, por su bajo contenido de FDN, se pueden constituir en un excelente suplemento, a los pastos tropicales, aportando nutrientes y en especial carbohidratos de fácil y rápida fermentación, como aporte al crecimiento microbiano y a la energía metabolizable total. Subproductos, que por sus contenidos de FDN se espera no depriman el consumo de alimento y por el contrario lo pueden estimular.

Ribeiro (2008), en su estudio de la semilla, como residuo industrial de mango, con potencial para ser utilizado en la alimentación de rumiantes, reporta valores de FDN de 23.7 %, los cuales son inferiores a los encontrados en el presente estudio; como se

mencionó anteriormente, éstas diferencias pueden ser inherentes a las variedades evaluadas y a los procesos industriales de extracción. Comparado con otros subproductos agroindustriales de alto potencial para la alimentación de rumiantes en Brasil, en el mismo estudio, Ribeiro menciona a la semilla de mango como el de menor tenor de FDN, resaltando esta propiedad como un factor importante dentro de la calidad nutritiva de éste subproducto.

Los bajos tenores de FDN en la cáscara de mango, 18 % y 28 % para las variedades Tommy y Keitt respectivamente, hacen de este subproducto un recurso alimenticio de mayor calidad que la semilla de mango y de alto potencial en la suplementación de dietas en rumiantes.

Fibra en detergente ácido (FDA)

EL FDA es un análisis secuencial en la valoración de los contenidos y tipos de fibra en los alimentos y determina en conjunto el contenido de celulosa, lignina, nitrógeno insoluble en detergente ácido, ceniza insoluble en ácido y sílice (Van Soest *et al.* 1991). Los valores de FDA generalmente están correlacionados con la digestibilidad de los forrajes y de los alimentos utilizados como suplementos en rumiantes, en donde a mayor contenido de FDA, regularmente, son recursos alimenticios de menor digestibilidad, Van Soest (1994). En los residuos de mango, la variedad Keitt presentó valores muy superiores de FDA; para el caso de la semilla su valor se triplicó en comparación con la variedad Tommy Atkins, 22 % versus 8 %, respectivamente. Y para el caso de la cáscara, el valor fue cinco veces superior, 15.8 % versus 3.7%. No se encontraron registros en la literatura de valores de FDA en residuos industriales de mango.

Lignina

Muchos factores tales como la temperatura, la intensidad lumínica, la disponibilidad de agua, latitud, madurez y métodos de cosecha y almacenamiento afectan la composición nutricional de los alimentos para rumiantes, en especial a la lignina, la cual es considerada como el componente primario responsable de limitar la digestibilidad de los forrajes. La lignina es indigestible a nivel de rumen y actúa reduciendo la digestión de los componentes potencialmente utilizables de las fibras en los alimentos (Traxler *et al.*

1998), por ello varios autores lo han propuesto y utilizado como indicador de la calidad de los alimentos, Fukushima y Dehority (2000). Los resultados del análisis de éste componente, en los residuos de mango, muestran que en general la semilla contiene mayores cantidades de lignina, en promedio 1.6 % más que la cáscara, lo que indica que los componentes fibrosos de la semilla pueden ser menos degradables en el rumen, que es la porción del tracto digestivo donde existe el verdadero potencial de degradación de las fibras, por efecto de la actividad fibrolítica de los microorganismos ruminales.

Al comparar las dos variedades evaluadas, se encontró que la Tommy en sus dos tipos de residuos, cáscara y semilla, contiene menor cantidad de lignina la variedad keitt, lo cual hace de la primera una variedad con mayor potencial de degradación ruminal y de esta forma con mayor potencial para aportar energía para la fermentación ruminal, el crecimiento microbiano y el aporte de energía metabolizable para el animal.

No se encontraron reportes de valoración del contenido de lignina en residuos de mango

Fracciones de carbohidratos

El CNCPS divide los carbohidratos en: Carbohidratos estructurales (CS) y Carbohidratos no estructurales (CNE) y a su vez estos los diferencia de acuerdo con su tasa de degradación y de pasaje en el rumen.

Carbohidratos No Estructurales

En los residuos de mango y en especial en la cáscara, predominaron los carbohidratos no estructurales: Para el caso de la variedad Tommy, el promedio de CNE fue de 80 % en relación con el total de carbohidratos. Éste tipo carbohidratos poseen una mayor tasa de degradación en el rumen y por ende mayor aporte de energía para el crecimiento microbiano. (Tabla 12).

La cáscara de la variedad Keitt, presentó una menor cantidad de CNE (71.7 %) en comparación con la variedad Tommy, esto posiblemente inherente a una mayor cantidad de residuo de pulpa en éste tipo de subproducto.

Los carbohidratos no estructurales pueden ser clasificados de acuerdo con su tasa de degradación en: Fracción A compuesta por azúcares y ácidos orgánicos que son de rápida degradación y fracción B1 compuesta por almidón, pectinas y demás fibras solubles como β glucanos y algunos ácidos grasos volátiles, con una tasa de degradación intermedia. Sniffen *et al* (1992).

A través del RIE, fue posible determinar la fracción A, la cual fue muy superior a la fracción B1, en las dos variedades y en los dos tipos de residuos evaluados, Para el caso de la cáscara, se destaca su alta composición porcentual, con respecto al total de los carbohidratos, 63 % y 73 % para las variedades Keitt y Tommy respectivamente. Se considera que prácticamente el 100 % de esta fracción se degrada en el rumen, a una tasa de degradación entre el 100 al 400 %/hora, Sniffen, (1992). Debido a su alta presencia y degradabilidad en el rumen éstos carbohidratos se constituyen en el principal componente nutricional de la cáscara de mango, ya que se convierten en aporte de energía rápida para el crecimiento de los microorganismos ruminales y por ende aporte esencial al total de energía metabolizable (EM) para el animal.

Ribeiro (2008), argumenta que el bajo contenido de pared celular de la cáscara de mango, sugiere una alta disponibilidad de nutrientes solubles, lo cual se está ratificando en el presente estudio, debido a que se desarrolló una caracterización más a fondo del tipo de carbohidratos presentes en éste residuo agroindustrial.

Aunque no se encontraron reportes de fracciones de carbohidratos, desde la perspectiva planteada en el presente, Hui (2006), señala que la cantidad de azúcares en la cáscara de mango es del 48 % mostrando una tendencia a la presencia de altos niveles de carbohidratos solubles, lo cual está en concordancia con los resultados del presente trabajo.

Para el caso de la semilla o pepa, los contenidos de carbohidratos de la fracción A, deben también ser considerados altos y de gran aporte al proceso de fermentación ruminal y aporte a la energía metabolizable. En este residuo la fracción A de los carbohidratos fue muy similar en las dos variedades 45 % y 44 % para Tommy y Keitt respectivamente.

La fracción B1 en la cáscara de mango reportó valores promedios de 7.4 % y 8.5 % para las variedades Tommy y Keitt respectivamente, De acuerdo a lo descrito por Guada (1996) ésta fracción presenta una tasa de degradación intermedia entre 5 al 60 %/hora y en general se considera que, aunque depende de la tasa de pasaje, la totalidad de ésta fracción se degrada en el rumen. Debido a esta característica, esta segunda fracción presenta también gran importancia en el contexto del aporte de energía para los microorganismos, para mejorar la eficiencia de fermentación en el ecosistema ruminal y finalmente como aporte a la EM en los animales en producción.

Si a la fracción B1 se le resta el almidón, quedan los compuestos de la pared celular que son resistentes a las enzimas de los monogástricos (fructanos, pectinas y β glucanos), pero que son fermentables en rumen, por efecto de las enzimas de los microorganismos ruminales, aportando a la energía del animal (Hall *et al.* 1999).

Se asume que gran parte de la fracción B1 de la cáscara de mango, se debe la presencia de cantidades considerables de pectina, la cual ha sido reportada en la literatura como uno de los principales constituyentes de los residuos agroindustriales de las frutas, (Ribeiro, *et al.* 2008).

En la semilla del mango se presentaron niveles de fracción B1 un poco superiores a los de la cáscara, debido posiblemente a la mayor presencia de pectina y almidón, Van Soest (1982) citado por Snnifen (1992), define que los contenidos de pectina no son importantes en los pastos ni en lo cereales, pero que las leguminosas, la pulpa de naranja y las semillas, contiene cantidades significativas de pectina, la cual es rápidamente fermentada en el rumen. De otro lado, Hui (2006), puntualiza que la semilla de mango es rica en almidón. Analizando éstos dos últimos reportes, hace suponer que los dos principales compuestos que abarcan la fracción B1 cuantificada en los residuos de semilla en el presente trabajo, son almidón y pectinas.

Carbohidratos estructurales

De acuerdo al fraccionamiento propuesto, dentro de los carbohidratos estructurales se encuentran la fracción B2 y C. La fracción B2, está compuesta por la porción de la fibra de la pared celular que es potencialmente degradable en el rumen; pero, cuya tasa de

degradación es lenta. De otro lado, la fracción C, es la porción de las fibras de la pared celular que no están disponibles para degradación ruminal. (Sniffen *et al.* 1992).

Del total de carbohidratos estructurales en los residuos de mango, se destaca el bajo contenido de la fracción C, en especial en el caso de cáscara con tenores de 0.2% para la variedad Tommy, esto hace que en ésta última variedad, prácticamente el total de los carbohidratos en la semilla sean potencialmente degradables a nivel ruminal, aportando una alta proporción de energía para los microorganismos ruminales en su procesos de fermentación y de EM para el animal.

Para el caso de la fracción B2, se resalta sus contenidos en la semilla, en donde alcanza valores de 40 % y 43 % del total de carbohidratos, para las variedades Keitt y Tommy respectivamente. Ésta fracción presenta una tasa de degradación entre 3 al 14 %/hora para los granos que son utilizados como suplemento para rumiantes tales como maíz cebada avena y para el caso de los forrajes entre 3 al 6 %/hora, (Sniffen *et al.* 2000).

Debido a lo anterior la semilla de mango se caracteriza por contener carbohidratos estructurales, susceptibles de ser fermentados en el rumen, pero cuyo verdadero aprovechamiento depende de las tasas de degradación y de pasaje en el rumen. Lo cual se analiza en el numeral 5.2.2.

La lignina y los complejos que forman con los carbohidratos estructurales celulosa y hemicelulosa se constituye la principal limitante de la degradación de los carbohidratos presentes en la fracción C.

Fracciones de proteína

La tabla 13 presenta las fracciones de proteína de los residuos de mango de acuerdo al sistema propuesto por el modelo CNCPS, en el cual la proteína de un alimento se divide en tres fracciones que son: Nitrógeno no proteico (NNP) fracción A; Proteína verdadera llamada fracción B y fracción C, que es el nitrógeno no disponible para los microorganismo ni el animal en ningún compartimento del tracto digestivo del animal (sacos de fermentación, estomago glandular e intestinos). La proteína verdadera es

adicionalmente subdividida en tres fracciones, B1, B2 y B3, de acuerdo a las tasas de degradación en el rumen (Sniffen *et al.* 1992).

Tabla 13. Fracciones de proteínas en los residuos de mango semilla y cáscara en las variedades Tommy atkins y Keitt.

Fracción	Tommy atkins		Keitt	
	Cáscara	Semilla	Cáscara	Semilla
Proteína cruda total (% MS)	2.42	4.67	1.84	2.83
A + B1 (% Proteína total)	25,8	34,5	11,1	7,3
B2 (% Proteína total)	21,7	38,6	2,3	36,3
B3 (% Proteína total)	31,6	16,8	36,9	24,7
C (% Proteína total)	21,0	10,1	49,7	31,7

Valorados de acuerdo a la metodología propuesta por Licitra (1996)

Valores correspondientes a dos muestreos, analizado por duplicado

Proteína soluble:

La proteína soluble en buffer, está compuesta por las fracciones A y B1. La proteína soluble, como porcentaje de la proteína total osciló entre 7 % hasta 25 % en los residuos de mango, destacándose que los valores superiores, corresponden a la variedad Tommy.

Si la proteína degradable que entra al rumen, iguala o excede los requerimientos de carbohidratos disponibles para crecimiento microbial, la cantidad de proteína soluble adicional no es benéfica para la eficiencia ruminal y por el contrario un exceso en la proteína soluble, incrementará los requerimientos energéticos para excretar el exceso de nitrógeno, lo cual reducirá la energía disponible para la producción de leche, (Juárez *et al.* 1999). Por ello se prefieren suplementos cuya proteína no sea soluble, ni degradable a nivel ruminal.

La alta solubilidad de la proteína es característica de los forrajes tropicales, lo cual no es muy favorable para el desempeño final del animal, debido a que puede existir exceso de nitrógeno soluble y degradable en el rumen.

Según Russell *et al.* (1992), la mayoría de proteínas encontradas en los forrajes y la soya son muy solubles y por tanto son rápidamente degradadas por las bacterias ruminales.

Algunos alimentos contienen proteínas que son insolubles como los subproductos de destilería y la harina de pescado.

Para el caso de los subproductos del mango, se encontró que en general, la poca proteína que contienen, tiende a ser insoluble en rumen lo que puede ser benéfico para el comportamiento productivo del animal, al pasar esta proteína intacta al tracto posterior, para su digestión en el abomaso e intestino, aumentando el componente de proteína de sobrepaso y por ende de proteína metabolizable para el animal.

La fracción A de la proteína, es considerada en el sistema CNCPS como el nitrógeno no proteico. De acuerdo a Licitra, *et al.* (1999), la fracción A corresponde a una gran variedad de compuestos nitrogenados de bajo peso molecular, incluyendo los aminoácidos libres, aminas, amidas, nitratos y nitritos y dependiendo del método de análisis puede incluirse los péptidos. Cuando el material en evaluación es precipitado con ácido tricloro acético (TCA) los péptidos no precipitan y quedan involucrados en el filtrado, el cual corresponde a la fracción A. En el presente trabajo el filtrado se obtuvo con TCA por ende en la fracción A se incluyen los péptidos.

De acuerdo a Van Soest *et al.* (1994), la Fracción B1 es proteína verdadera, pero rápidamente degradable en el rumen. Según, Sniffen 1992, para el caso particular de los forrajes frescos, la fracción B1 constituye la mayoría de la fracción soluble. Esto significa una fracción de proteína de buena calidad, que se degrada fácilmente en el rumen como aporte de nitrógeno para las bacterias del rumen.

Las tasas de degradación de la fracción B1 en el rumen, oscilan entre 120 a 350 % (Sniffen, *et al.* 1992), lo que hace que la totalidad de esta fracción, al igual que la totalidad de la fracción A, sean normalmente degradadas en el rumen. La presencia de estas dos fracciones favorece el crecimiento microbial, debido a que se convierten en una fuente de nitrógeno soluble para la síntesis de aminoácidos y proteína microbial. Sin embargo, para lo anterior se requiere cantidades suficientes de carbohidratos solubles como fuentes de esqueletos carbonados y energía para este propósito. Afortunadamente, como ya se discutió, los residuos de mango, en especial la cáscara, tienen alto contenido de carbohidratos fermentables, especialmente azúcares, por lo cual, se podría generar una

adecuada sincronía entre los carbohidratos y el nitrógeno de rápida degradación en el rumen.

De esta forma, tanto la proteína soluble como la insoluble de los residuos de mango, pueden llegar a ser aprovechadas adecuadamente por el animal, siempre y cuando se calcule las cantidades de suplemento ajustadas a los déficit en éstas fracciones, en el alimento base, que es el pasto.

Fracción B2

La fracción B2 en la cáscara, no presentó una tendencia clara que permita generalizar su comportamiento, sus valores fueron muy diferentes en las dos variedades evaluadas: 2 % para Tommy y 21% para Keitt. Para el caso de la semilla los valores fueron similares en las dos variedades (36%).

La proteína insoluble en buffer, menos la proteína insoluble en detergente neutro es utilizada para estimar la fracción B2 de las proteínas. Parte de ésta última fracción es fermentada en el rumen, aproximadamente entre el 70 y 85 % y alguna escapa intacta para el tracto posterior (Abomaso e intestino delgado).

Fracción B3

De las tres fracciones B en los residuos de mango, la B3 fue la de mayor cantidad detectada en los análisis de laboratorio. La semilla reportó menores cantidades que la cáscara y a su vez, en la variedad Tommy se identificaron los mayores niveles. Esta fracción es insoluble en detergente neutro pero soluble en detergente ácido y se considera de lenta degradación en el rumen, debido a que se encuentra asociada a la pared celular (Krishnamorthy *et al.* 1983).

Sniffen *et al.* (1992), puntualiza que los subproductos contienen cantidades significativas de fracción B3, lo que está de acuerdo con lo encontrado en el presente trabajo. Éste mismo autor, presenta la tasa de degradación de la fracción B3 de diferentes alimentos: forrajes, suplementos y granos mostrando valores en porcentaje por hora de 0.6 a 2 (%/h).

Aunque las cantidades totales de proteína fueron bajas en los dos materiales evaluados, la proporción de la fracción B3, fue relativamente alta dentro del total de la proteína (tabla 13). Esta fracción de proteína es de sobrepaso y susceptible de ser digerida en el tracto posterior del rumiante. En general se busca que los suplementos con proteína de buena calidad sean de sobrepaso para que no se degraden en el rumen. Para el caso de los subproductos de mango, Abdalla *et al.* (2007), reporta que a pesar de que los contenidos de proteína en la semilla de mango son bajos, ésta es de excelente calidad cuando se trata de evaluarla por su perfil de aminoácidos.

Aunque, no se evaluó el perfil de aminoácidos en el presente trabajo, lo reportado por Abdalla, sugiere que la proteína de sobrepaso de la semilla de las variedades de mango evaluadas cuentan con un adecuado perfil de aminoácidos. Esta fracción de proteína, es susceptible de ser digerida en el tracto posterior (por las enzimas proteicas del estomago e intestino) y los aminoácidos absorbidos en el intestino delgado y de esta forma ayudar en el aporte de aminoácidos esenciales y no esenciales de la dieta.

Fracción C

La fracción C presentó una mayor cantidad en la variedad Keitt, en comparación con la variedad Tommy en los dos tipos de residuos evaluados. La cáscara registró el mayor porcentaje, con un promedio de 49% en la variedad Keitt y 21 % en la Tommy. En la semilla los valores fueron de 10 % y 31 % para las variedades Tommy y Keitt respectivamente.

La fracción C es la proteína que es insoluble en detergente ácido. De acuerdo con Sniffen, *et al.* (1992) esta fracción está asociada con la lignina o formando complejos con taninos o se puede formar por efecto de las reacciones de Maillard. Estos complejos son altamente resistentes a las enzimas de los microorganismos y del tracto digestivo de mamíferos. El mismo autor resume el contenido de ésta fracción en diferentes alimentos y señala que dentro de éstos, los que mayor contenido de fracción C son los silos provenientes de cultivos, la alfalfa deshidratada, las pulpas de cítricos y los subproductos de las destilerías de granos.

Los altos contenidos de la fracción C, en especial en la cáscara de la variedad Keitt, hace que, además de los bajos contenidos de proteína en los residuos evaluados, gran parte de la misma no es disponible para el animal, (49.7 % del total de la proteína). Esto hace que el potencial real de estos subproductos no se centre en la proteína; sino como ya se discutió, en los carbohidratos en donde por su porcentaje y disponibilidad para el rumen, es una fuente energética para el animal, siendo estos subproductos un recurso de alto potencial en la alimentación para rumiantes.

5.1.2. Caracterización Taxonómica.

De acuerdo con lo expresado por Agrocadenas (2004), el mango (*Mangifera indica* L.) es una fruta de la familia de las Anacardiáceas originaria de la India donde existen más de 1.000 variedades. Fue introducida en América por los portugueses y es un cultivo típico de zonas tropicales y subtropicales. A nivel mundial las variedades más conocidas de mango son:

Variedades Rojas:

- a. *Kent*, se caracteriza por ser de gran tamaño, entre 500 y 800 gramos, es jugoso, con poca fibra, alto contenido en azúcares y de sabor agradable,
- b. *Haden*, es de tamaño mediano a grande, entre 380 y 700 gramos, de forma ovalada, pulpa firme y de sabor agradable,
- c. *Tommy Atkins* es de tamaño grande aproximadamente 600 gramos, se caracteriza por ser resistente a daños mecánicos y tiene un mayor período de conservación,
- c. *Irwin*, es un mango de menor tamaño aproximadamente 340 gramos, la fruta es ovalada, alargada y de color anaranjado, tiene bajo contenido en fibra y es de menor calidad que los anteriores pero es una variedad muy productiva.

Variedades Verdes:

- a. *Keitt*, de tamaño mediano a grande (600gramos) con una pulpa con poca fibrosidad, jugosa y firme,
- c. *Amelie*, es originaria de África occidental.

Variedades Amarillas:

- a. *Ataulfo*, de origen mexicano, tamaño mediano a pequeño, bajo en fibra y alto contenido de azúcar,
- b. *Manila Super*, es un mango muy pequeño de 10 gramos pero de sabor muy fuerte.

En el presente trabajo se utilizaron y evaluaron una variedad roja Tommy Atkins y una variedad verde Keitt.

5.1.3. Caracterización Industrial y Socioeconómica

De acuerdo a Hui (2006) y Ribeiro *et al* (2007) los principales procesos de transformación de las frutas son: la congelación, deshidratación, enlatado y en caso específico del mango, la producción de pulpas y jugos. Durante estas operaciones de procesamiento una gran proporción de la fruta termina como residuo el cual necesita ser manejado adecuadamente para evitar contaminación ambiental. Si estos residuos se manejan adecuadamente pueden generar un valor agregado para la industria que los procesa. Los desechos generados en la industria son utilizados para la preparación de alimentos para humanos, para alimentos para animales, fertilizantes, acondicionadores del suelo o rellenos de terrenos.

La tabla 14 presenta los resultados de la valoración de rendimientos de pulpa, cáscara y semilla en tres ensayos realizados con la variedad Tommy Atkins en los cuales se registró el peso inicial completo y posteriormente el peso de cada uno de los componentes del mango, posteriormente, se calculó el porcentaje y contenido en MS, en Horno a 65 ° C.

Tabla 14. Rendimientos de pulpa, y residuo industrial (cáscara y semilla) en la Variedad Tommy atkins

Componente	En fresco		En materia seca	
	Rango (%)	Promedio (%)	Rango (%)	Promedio (%)
Pulpa	59 - 67	62.0	52 - 60	54.9
Cáscara	23 - 28	25.5	24 - 28	26.4
Semilla (semilla)	10 - 14	12.5	16 - 21	18.7

*Promedio de tres evaluaciones

MATERIA SECA: Promedio de MS para Semilla 28.8 % , cáscara 19,9 % y pulpa 17 %.

En base fresca, se registró un promedio de residuos del 38 % y un 62 % de pulpa, valores cercanos a presentados por la Asociación Naturland (2000), la cual señala que los desechos antes del consumo del mango fresco corresponden el 34 % del total de la fruta fresca.

Hui (2006), igualmente señala que cerca del 40 al 60 % de la fruta termina como residuo, el cual está conformado por un 12 a 15 % de cáscara, 5 a 10 % de desecho de pulpa y 15 a 20 % de semilla (semilla).

Abdala *et al* (2006) realizó una caracterización nutricional de la nuez al interior de la semilla e identificó que ésta representa del 45 a 75 % de toda la semilla y aproximadamente el 20 % de toda la fruta, datos que guardan relativa correspondencia con los encontrados en el presente trabajo en donde la semilla corresponde hasta el 14 % del total de la fruta en fresco, pero al corregirlo por materia seca puede llegar a valores hasta de 21 %.

Lo anterior muestra la necesidad de generar alternativas de uso de los residuos generados por las industrias procesadoras de frutas y en este caso particular de mango. De una tonelada procesada, 380 Kg de residuos quedarían disponibles para la alimentación animal, lo cual representa un recurso de gran valor, para sistemas integrados de producción, en donde se de valor agregado a los subproductos de los procesos.

Al valorar la proporción de los dos subproductos, cáscara y semilla, se determinó que del total de residuos generados un poco más de la mitad es cáscara 58.7 % y que la semilla corresponde a un promedio de 41.3 %, éstos últimos valores expresados en materia seca.

Industrialmente, la semilla del mango ha tenido mayor atención debido a su grasa, la cual es muy buen sustituto de la manteca de res y el aceite de cocoa en sopas y confitería: La torta o harina que queda después de la extracción del aceite puede ser un sustituto del trigo o de la harina de maíz en la alimentación animal debido a que es muy buena fuente de varios aminoácidos esenciales. La cáscara de mango ha sido también reportada como suplemento de la alimentación de peces (Hui, 2006).

Rojas y Castillo (2005) presentan valores superiores de rendimientos en fruta y menores en residuos a los encontrados en el presente trabajo, al identificar promedios de pulpa de 76.61 % y cáscara y semilla 26.39 %, posiblemente generados por el tipo de variedad y mejoras en el proceso de obtención de la pulpa.

Disponibilidad del recurso.

Los residuos de frutas debido al crecimiento de las industrias procesadoras, cada día tienen mayor importancia como recurso que debe dársele un valor agregado. Una alternativa es utilizarlos estratégicamente en alimentación animal. Ribeiro (2008) señala que en América Latina se producen más de 500 millones de toneladas de residuos y subproductos agroindustriales, en donde Brasil es responsable de más de la mitad de esta cantidad. Igualmente, expresa que actualmente estos subproductos son fuente de contaminación ambiental y elevan los costos de producción debido a los pagos de transporte y el pago por las áreas para depositar éstos residuos y que dentro de éste contexto los animales rumiantes revisten especial importancia por su sistema digestivo que permite convertir residuos de bajo costo, en alimentos de alto valor biológico como leche y carne.

De acuerdo a Mejia *et al.* (2007) en el departamento del Valle del Cauca se procesan aproximadamente 351 ton/semana de mango común por parte de la agroindustria de pulpas y jugos, generando un problema de contaminación ambiental por los residuos generados. Solamente en el despulpado de mango se generan cerca de 50 a 55 % de residuos, aproximadamente 193.32 ton/semana, representados en cáscara, semillas y restos de pulpa y fibra.

5.2. CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA (NIVEL II)

5.2.1. Energía

La tabla 15 señala los valores de energía bruta obtenidos en los residuos de mango evaluados y los valores calculados de energía metabolizable (EM), energía digestible (ED), Energía Neta de lactancia ENL, Energía Neta de mantenimiento (ENm) y energía

neta de ganancia o crecimiento (ENg). de acuerdo con las ecuaciones propuestas por la NRC (2001).

Los valores de energía bruta determinados en el laboratorio y los calculados aplicando las ecuaciones propuestas por NRC (2001), se correlacionan con la calidad nutritiva de los subproductos evaluados; principalmente con el nivel de carbohidratos cuantificado en la sección de caracterización nutricional y en especial con los carbohidratos no estructurales fracciones A y B1, (tabla 12). Igualmente, los resultados están en correspondencia con los niveles de degradabilidad de la Materia seca de los residuos de mango, semilla y cáscara, en las dos variedades evaluadas. Los mejores niveles energéticos se obtuvieron en la cáscara en comparación con la semilla y en especial para la variedad Tommy debido a la mayor cantidad de fracciones A y B1 y a su mayor degradabilidad en el rumen en comparación con la semilla de su misma variedad y con la cáscara y semilla de la variedad Keitt.

Tabla 15. Energía total determinada por calorímetro y estimaciones de energía de los subproductos de mango.

Energías determinadas y calculadas	Tommy atkins		Keitt	
	Cáscara	Semilla	Cáscara	Semilla
Energía Bruta* (cal/g MS)	3235	3189	3121	3170
Energía Metabolizable EM (Mcal/kg)**	2.91	2.75	2.47	2.27
Energía Digestible ED (Mcal/kg)**	3.33	3.16	2.89	2.69
Energía Neta de Mantenimiento ENm (Mcal/kg)**	1.86	1.75	1.57	1.43
Energía Neta de Lactancia ENI (Mcal/kg)**	1.85	1.74	1.55	1.41
Energía Neta de ganancia ENg (Mcal/kg)**	1,20	1,09	0,92	0,79

* Energía Bruta o total determinada por calorímetro **Energías calculadas con el modelo de la NRC 2002

Debido a que no se encontraron reportes de valores de energía en los residuos de mango, que permitieran comparar con los obtenidos en el presente trabajo, se identificaron dos materias primas a. Maíz Molido y b. Pulpa de cítricos deshidratada con el fin de dimensionar el valores energéticos en los residuos de mango. Los dos ingredientes de referencia se seleccionaron teniendo en cuenta que el primero de ellos, maíz, es el principal ingrediente energético que se utiliza en Colombia para la elaboración de alimentos balanceados para bovinos y el segundo por tratarse de un subproducto de la industria de frutas del cual se encuentran amplios reportes en la literatura. Los valores de referencia fueron obtenidos en la misma publicación que aportó las ecuaciones de predicción de energía, NRC (2001). Para el caso del maíz se reporta valores de EM y ENI

de 3.12 y 2.01 Mcal/kg de materia seca y en la pulpa de cítricos se identifican valores de 2.76 y 1.66 y para el caso de la cáscara de la variedad tommy se reportaron valores de 2.91 y 1.83 Mcal /kg de MS en EM y ENI respectivamente. Como es lógico los mayores niveles de energía en el maíz se obtienen por su bajo contenido de carbohidratos estructurales 9.3 % en comparación con la cáscara de Tommy de 18.3 %, permitiendo mayores tenores de carbohidratos no estructurales, de más rápida degradabilidad ruminal y mayor aporte energético. Los valores de energía de las cáscara de la variedad Tommy son superiores a los reportados en la pulpa deshidratada de cítricos, en correspondencia con los valores promedio de FDN, que para el caso de este último residuo industrial es de 24.2 %, superior a la cáscara de mango tommy.

5.2.2. Degradabilidad *in sacco* de la Materia seca.

La tabla 16 indica los resultados obtenidos de la prueba de degradabilidad *in sacco* de la materia seca de los sustratos evaluados, los valores reportados corresponden al promedio de 3 replicas por cada tiempo, en cada material evaluado.

Se presentaron diferencias notorias entre los dos residuos evaluados, encontrándose que la cáscara presentó un mejor comportamiento que la semilla, esto principalmente debido a la composición nutricional de los residuos. Como ya se había analizado, la cáscara presenta mayor contenido de carbohidratos de fácil degradación en el rumen (fracciones A y B1). En cuanto a las variedades se identifica un mejor comportamiento en Tommy en comparación con la Keitt.

Tabla 16. Valores observados de la degradabilidad *in sacco* de la materia seca (MS) en los residuos de mango en las dos variedades evaluadas.

Tiempo	Tommy atkins		Keitt	
	Cáscara (%)	Semilla (%)	Cáscara (%)	Semilla (%)
0	44.6	18.2	50.7	26.8
3	69.1	27.4	68.0	33.1
6	71.5	29.8	69.3	33.7
24	85.7	41.2	80.1	39.4
48	92.9	49.1	91.4	40.0
72	93.3	51.6	93.6	40.8

Promedio de tres determinaciones

Los datos originales (observados) fueron analizados aplicando el programa Fit curve NEWAY®, el cual permitió el ajuste de las curvas, el cálculo de los parámetros de la curva de degradabilidad y la estimación de la degradabilidad efectiva ajustada a tres tasas de pasaje del material (0.02, 0.05 y 0.08 % / hora). La tabla 17 resume los parámetros de las curvas de degradabilidad de la materia seca ajustadas con el modelo de Orskov y McDonald (1979): $Y = a + b(1 - e^{-ct})$.

De acuerdo con lo expresado por Naranjo *et al* (2005), existen muchos modelos matemáticos que se han utilizado para ajustar los datos de degradabilidad ruminal (Waldo *et al* 1972, Ørskov y McDonald 1979, McDonald 1981, Mertens y Ely 1982, Nocek y English 1986), sin embargo, el modelo de primer orden propuesto por Ørskov y McDonald (1979) es el más usado.

La figura 6 compara las curvas ajustadas de la degradabilidad de la materia seca de los materiales evaluados. El anexo 2 presenta los resultados del ajuste de las curvas con el programa Fit curve NEWAY®, de cada uno de los materiales evaluados.

Tabla 17. Ajuste de las curvas de degradabilidad con el modelo de Orskov*, parámetros, y degradabilidad efectiva de acuerdo a la tasa de pasaje en los residuos de mango.

Parámetro	Tommy atkins		Keitt	
	Cáscara	Semilla	Cáscara	Semilla
A	64,1	24,2	64,7	30,8
B	30,5	29,9	34,9	9,9
C	0,051	0,036	0,026	0,073
RDS	0,99	0,38	1,57	0,65
Perdida por lavado (%)	44,6	18,2	50,7	26,8
Degradabilidad insoluble en agua (%)	50,1	35,9	48,9	13,9
Potencial de degradabilidad (%)	94,7	54,1	99,6	40,7
Tasa constante de degradabilidad (fracción/hora)	0,051	0,036	0,026	0,073
Tiempo fase lag (horas)	0,0	0,0	0,0	0,0
Degradabilidad Efectiva según tasa pasaje:				
Tasa pasaje 0,02 (fracción/ hora)	86,1	43,4	84,6	38,6
Tasa pasaje 0,05 (fracción/ hora)	79,6	36,6	76,8	36,7
Tasa pasaje 0,08 (fracción/ hora)	76,1	33,4	73,4	35,5

* Modelo de Orskov y McDonald (1997) $P_t = a + b(1 - e^{-ct})$; P_t : Degradabilidad del material en el tiempo t

a : Es el valor del intercepto (tiempo cero) en la curva ajustada; b : Es la asíntota de la curva ajustada, la cual es alcanzada si el tiempo es infinito (en la práctica es alcanzada entre 30 y 50 horas con los alimentos concentrados y entre 70 y 90 horas con los forrajes); $a+b$: es el potencial de degradabilidad del material y es la cantidad de material el cual puede desaparecer de la bolsa por la degradabilidad en el rumen.

Se observa grandes diferencias en la degradabilidad de la materia seca entre los dos tipos de residuos evaluados; la cáscara reportó un potencial de degradabilidad superior en comparación con la semilla, la cual mostró bajos niveles de desaparición de las bolsas de nylon introducidas en el rumen del animal.

El valor de a , que representa el intercepto (tiempo cero), presentó valores superiores en la cáscara, 64 % en las dos variedades evaluadas, en comparación con la semilla (24 % y 30 % para Tommy y Keitt respectivamente), señalando que el material presenta un alto valor de solubilidad y degradabilidad inmediatamente ingresa al rumen. La degradabilidad inicial esta representada por la solubilidad al ingreso (desaparición por lavado: solubilidad en agua) más la degradabilidad del material por efecto de los microorganismos ruminales. Lo anterior significa que, del total de la cáscara, más de la mitad del material presenta degradabilidad inmediata en el rumen, esto probablemente correlacionado con la alta cantidad de carbohidratos degradables (fracciones A y B1), identificados en la sección de caracterización nutricional en el presente trabajo.

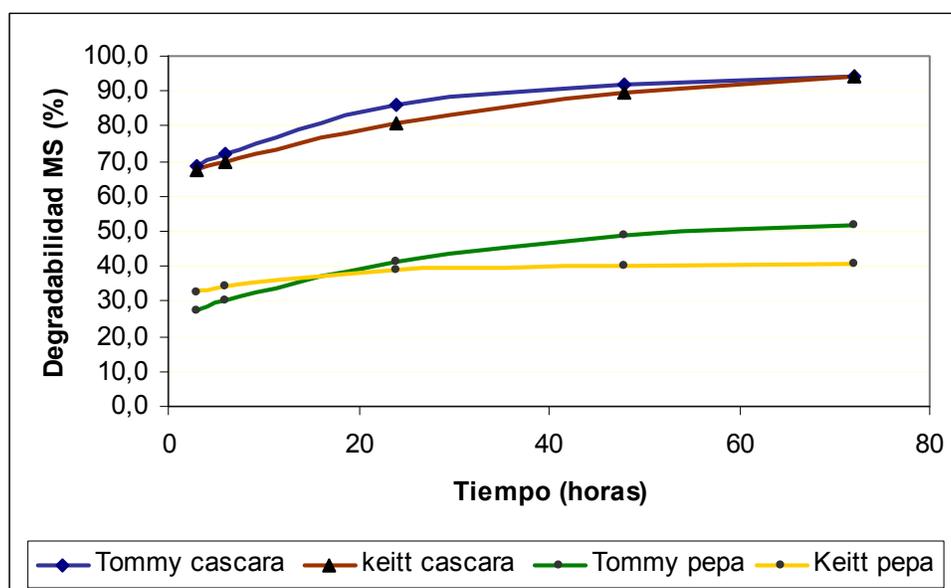


Figura 6. Degradabilidad ajustada con el modelo de Orskov y McDonald (1979), de la cáscara y semilla, en las dos variedades evaluadas.

La sumatoria de los valores a y b representa el potencial de degradabilidad del alimento y corresponde a la cantidad de material que puede desaparecer de la bolsa de nylon, si el tiempo fuera infinito, aunque en la práctica ocurre a las 50 horas en los alimentos concentrados y a las 70 horas en forrajes. Se puede definir que para el caso de la cáscara, casi la totalidad del material es degradable en el ecosistema ruminal, con reportes de 94 y 99 % para Tommy y Keitt respectivamente.

La tasa de degradabilidad (parámetro c) en la cáscara de Tommy 0.051 % / hora, fue superior a la de Keitt 0.021 % / hora, lo cual se hace evidente en las dos curvas ajustadas en la figura 1. A las 48 horas, la degradabilidad del material es ligeramente superior en la variedad Tommy.

La asíntota de las dos curvas ajustadas para la cáscara se ha alcanzado prácticamente antes de las 60 horas de retención en el rumen.

Los valores de degradabilidad de la semilla fueron muy inferiores a los encontrados en la cáscara, posiblemente correlacionado por los contenidos más altos de carbohidratos estructurales, (tabla 12) encontrados en éstos materiales (B2 y C) y tenores inferiores de carbohidratos no estructurales (A y B1), en comparación con la cáscara de las dos variedades estudiadas, ver caracterización nutricional.

El potencial de degradabilidad (%) de la semilla es prácticamente la mitad de la cáscara 54 % versus 94 % en la Tommy y 40 % versus 99 % en la Keitt.

La degradabilidad efectiva de los materiales de acuerdo a las tres tasas de pasaje, muestra las mismas tendencias descritas anteriormente. Con la menor tasa de pasaje 0.02 %/hora, que es con la que se alcanza la mayor tasa de degradabilidad efectiva, muestra valores superiores para la cáscara 86 y 84 % en comparación con la semilla 43 y 38 % para las variedades Tommy y Keitt respectivamente.

Los valores y tendencias encontrados en el presente trabajo están en correspondencia con lo reportado por Ribeiro *et al.* (2008), quienes evaluaron la degradabilidad de la materia seca MS y el FDN de varios subproductos agroindustriales en Brasil, por la técnica de producción de gases y concluyeron que la cáscara de mango presentó los

valores más elevados de degradabilidad de la materia seca y de producción acumulada de gases, donde para un tiempo de 48 horas se reporta una degradabilidad de la materia seca de 83 % y una producción acumulada de gases de 331 ml. Igualmente, señalan que se muestra una tendencia en la curva a estabilizarse después de las 72 horas, siendo un tiempo máximo de incubación de 96 horas, suficiente para que el máximo potencial de degradabilidad sea alcanzado. De otro lado se recalca que la superioridad de los residuos de mango probablemente se deba al contenido de sustratos solubles (fermentables), principalmente pectina y carbohidratos solubles.

No fueron encontrados trabajos de investigación de degradabilidad de la materia seca de la semilla de mango.

5.2.3. Taninos y saponinas

La tabla 18 presenta los resultados de los análisis de factores antinutricionales Taninos y saponinas determinados en los residuos de mango.

Tabla 18. Presencia de Taninos y Saponinas en residuos de mango, cáscara y semilla en las dos variedades evaluadas

Factor antinutricional	Tommy atkins		Keitt	
	Cáscara (%)*	Semilla (%)*	Cáscara (%)*	Semilla (%)*
Taninos	ND	ND	ND	ND
Saponinas	ND	ND	ND	ND

ND: No detectable. *Análisis por duplicado para cada residuo

Las pruebas fitoquímicas para determinar la presencia de taninos dieron negativas lo cual concuerda con los resultados de degradabilidad de la materia seca, en los cuales el alto potencial de degradabilidad efectiva estimada para la cáscara, no evidencia presencia de factores antinutricionales y están en correspondencia con las relaciones de carbohidratos estructurales y no estructurales en los dos tipos de residuos de mango evaluado. Sin embargo hay que tener presente que en la literatura se reporta en algunos casos la presencia de taninos en los residuos de mango como es el caso de Hui (2006), quien identifica presencia de taninos en niveles de 2.3 % en la cáscara de mango y 10.6 % en la nuez de la semilla de mango.

5.2.4. Determinación del nivel de aceptabilidad teórico. Simulación ex ante.

La tabla 19 señala la calidad nutritiva de los pastos en la finca Villa Nataly y la tabla 18 las características generales del lote experimental de animales que sirvió de referencia para simular el efecto de la suplementación con los residuos agroindustriales de mango. Manteniendo constante las características de los animales se realizaron las siguientes simulaciones

- a. Animales en pastoreo sin suplementación (solo pastoreo)
- b. Animales en pastoreo, suplementados con maíz (2.5 Kg. de MS por animal día)
- c. Animales en pastoreo suplementados con cáscara de mango variedad Tommy (2.5 Kg. de MS por animal día)

Tabla 19. Calidad nutritiva pastura en sistema de sombra con aliso (10 x 5) Base seca (100 % MS).

VARIABLES	Composición nutricional
Proteína Cruda (% MS)	14,1
MS (%)	23,14
FDN (%MS)	60,04
FDA (%MS)	28,57
Hemicelulosa (%MS)	31,47
Lignina (%MS)	5,28
Celulosa (%MS)	23,18
Proteína A (% Proteína Total)	2,82
Proteína B1 (% Proteína Total)	43,06
Proteína B2 (% Proteína Total)	27,8
Proteína B3 (% Proteína Total)	20,75
Proteína C (% Proteína Total)	5,56
Proteína SOL (% Proteína Total)	45,88

Fuente: Hernández y Castilblanco (2009). La composición porcentual de la pastura fue: Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) 40.5 %, Raigrás (*Lolium spp.*) 10.8 %, Falsa Poa (*Holcus lanatus*) 12 %, Trebol Rojo (*Trifolium pratense*) 7.8 %, Trebol Blanco (*Trifolium repens*) 1.0 %

Para el caso de los suplementos se utilizó la información contenida en la base de datos del programa (maíz grano molido) y para los residuos de mango la información obtenida en el presente trabajo.

La tabla 20 compara los resultados de la simulación en los diferentes escenarios en las que únicamente se remplazo parte del consumo de pasto por el suplemento que se deseaba analizar

Tabla 20. Características generales del lote de vacas Finca Villa Nataly.

Información ingresada para simulación	Vacas Lactancia (Primer Tercio)
(Cattle inputs)	
Tipo de animales	Vacas en lacancia
Días en lactancia	40
Producción promedia de leche (Kg./día)	14
Grasa de la leche (%)	3,3
Proteína en la leche (%)	3,1
Lactosa (%)	4,78
Raza	Holstein
Promedio SBW (Kg.)	510
Promedio FSW (Kg.)	531
(location inputs)	
Temperatura (°C)	16
Humedad relativa (%)	70
Temperatura minima nocturna (°C)	10
Distancia plana caminada (m)	1200

SBW: Shrunken body Weight, Peso corporal con merma. FSW: Full Body weight, Peso corporal Lleno.

a. Solo pastoreo

Los resultados de la simulación muestran que para el primer escenario en el cual las vacas estaban en solo pastoreo, sin ninguna suplementación se presenta un potencial para producir leche por la cantidad de Energía metabolizable disponible en el sistema evaluado de 11.49 Kg./día y un potencial para producir leche por Proteína metabolizable (PM) de 15.75 Kg./día. Señalando que en el balance se presenta un déficit de 2.6 Mcal/día. Tabla 21

b. Pastoreo más suplementación con maíz grano (2.5 Kg./animal/día)

El segundo escenario en el cual los animales son suplementados con maíz los potenciales de producción por EM y por PM se aumentan pasando a valores de 14.7 y 16.77 Kg/animal /día, respectivamente.

El balance negativo de energía que existía con solo pastoreo desaparece y por el contrario se presentan valores positivos en el balance para PM y EM cumpliendo con un 102 % y 111 % del requerimiento de los animales. Lo anterior muestra las bondades de suplementar con alimento concentrado principalmente en energía. En la misma tabla 11 se señalan las características de la dieta total (pastoreo o pastoreo más el suplemento respectivo); en donde se identifica el aumento en la cantidad de carbohidratos no estructurales pasando de 16.4 % en solo pastoreo a 28.3 % lo que mejora las características de fermentabilidad de la dieta en el rumen y por ende un mayor suministro de proteína microbiana y mayor digestibilidad del pasto. Lo anterior se refleja en los niveles energéticos pasando de valores de EM de 2.21 Mcal/Kg. de la dieta con solo pasto a 2.43 Mcal/Kg. en la dieta de pasto con el suplemento de maíz.

Tabla 21. Resultados de la simulación con el programa CNCPS al realizar la evaluación ex ante del uso de residuos en las vacas de la finca Villa Nataly.

	Solo pastoreo		Con maíz*		Con Cáscara de mango**	
	EM (Mcal/día)	PM (g/día)	EM (Mcal/día)	PM (g/día)	EM (Mcal/día)	PM (g/día)
Diagnóstico						
Suministro	28.3	1373	30.4	1287	29.3	1226
Mantenimiento	15.6	527	14.9	511	15.1	535
Lactancia	14.7	647	14.7	647,8	14.7	647.8
Balance	menos 2.6	80.8	0,7	128,2	menos 0,5	43.6
% del requerido	91	107	102	111	98	104
Disponibilidad para producir leche	11.49	15.75	14.7	16.77	13.52	14.94
Características Dieta total						
Proteína cruda	14,1		13.1		11.8	
Proteína soluble (%PC)	46		42		45	
PDR (%MS)	8.39		7.8		6.93	
Extracto etéreo (%MS)	2.5		2.8		2.6	
CNE (%CHO)	16.4		28.3		27.8	
Total de carbohidratos fermentados (%MS)	58.5		60.8		59.5	
Cenizas (%MS)	7		5.92		6.13	
FDN (%MS)	60.04		49.83		51.69	
FDN del forraje (% MS)	60.04		48.03		48.03	
Lignina (%MS)	8.79		7.48		9.1	
EM de la dieta (Mcal /Kg. MS)	2.21		2.43		2.34	
ENI de la dieta (Mcal /Kg. MS)	1.42		1.57		1.51	
ENm. de la dieta (Mcal /Kg. MS)	1.35		1.55		1.47	
ENg. De la dieta (Mcal /Kg. MS)	0.77		0.95		0.88	

*Con maíz: Pastoreo suplementado con maíz 2.5 Kg./animal/ día. **Con cáscara de mango: Pastoreo suplementado con cáscara 2.5 Kg. MS/animal/día. EM: Energía metabolizable, PM: Proteína metabolizable.

Dieta total: Pasto más el suplemento correspondiente

a. Pastoreo más suplementación con cáscara de mango (2.5 Kg./animal/día)

En el tercer escenario en el cual los animales son suplementados con cáscara de mango (2.5 Kg de materia seca /animal/día) al compararlos con el primer escenario de solo pastoreo sin suplementación los potenciales de producción por EM y por PM se aumentan, pasando de valores de 11.49 a 13.52 Kg./animal /día, para el caso del potencial por energía metabolizable. El balance negativo de energía que existía con solo pastoreo se disminuye notoriamente, pasando de -2.6 a -0.5, mostrando las bondades del suplemento. Al igual que con el maíz, se identifica un aumento en la cantidad de carbohidratos no estructurales, pasando de 16.4 % en solo pastoreo a 27.8 %, lo que mejora las características de fermentabilidad de la dieta en el rumen y por ende un mayor suministro de proteína microbiana y mayor digestibilidad del pasto. Los niveles energéticos de la dieta total también cambian, pasando de valores de EM de 2.21 Mcal/Kg. de la dieta con solo pasto a 2.34 Mcal/Kg. en la dieta de pasto con el suplemento de maíz.

Debido a que la dieta con solo pastoreo no era deficitaria en proteína, la cáscara de mango que si lo es, puede afianzarse en su uso en este tipo de situaciones, en los que la proteína no es deficitaria, como ocurre en muchas ocasiones en los sistemas de trópico alto colombiano.

La cáscara de mango presentó un excelente comportamiento como suplemento con un desempeño un poco inferior al del maíz grano lo que muestra las bondades de los subproductos de mango y en especial la potencialidad de la cáscara de mango como un excelente suplemento en dietas para rumiantes en donde el objetivo sea mejorar los niveles de fermentabilidad, el crecimiento de microorganismos en el rumen, y aumentar los niveles energéticos para el animal.

5.3. EVALUACIÓN DE PROCESOS DE ENSILAJE

5.3.1. Ensayo 1. Bolsas de polietileno.

El anexo 3 presenta los resultados del análisis de varianza del ensayo en el que se avaluó el efecto del tiempo de fermentación, nivel de carbohidratos solubles añadidos (melaza) y

nivel de inóculo (microorganismos y enzimas) sobre las variables Materia seca, pH, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total y la relación entre estos dos últimos (Nitrógeno amoniacal/nitrógeno total). Igualmente presenta los valores de significancia para las interacciones: tiempo por melaza, tiempo por inóculo y melaza por inóculo.

En el factor tiempo se presentaron diferencias ($P < 0.05$) para las variables: MS, pH y la relación nitrógeno amoniacal con el nitrógeno total. Para el caso del factores adición de carbohidratos (melaza) y adición de inóculo (microorganismos y enzimas), únicamente se presentaron diferencias en la variable pH ($P < 0.05$). Para el caso de las interacciones únicamente se presentaron diferencias en la variable pH en la interacción tiempo por melaza y en la variable nitrógeno amoniacal en la interacción tiempo por inóculo, ($P < 0.05$).

Materia seca

La tabla 22 presenta el efecto del tiempo de ensilaje sobre las variables control. Para el caso de la materia seca, se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$). Al aumentar el tiempo de ensilaje, los niveles de materia seca disminuyeron, lo que afectó negativamente la fermentación del subproducto.

De acuerdo a Muck (1988) existen factores que aumentan el proceso de respiración, (antes de ser empacado el silo y durante la primera etapa de la fermentación del silo, hasta agotar el oxígeno atrapado en el mismo) las cuales pueden generar problemas, principalmente en lo que hace referencia a pérdidas en la materia seca. Gran parte de la materia seca que se pierde son carbohidratos fermentables, esto igualmente representa pérdidas del valor energético del alimento y de sustrato para la formación de ácido láctico.

Los niveles promedios de materia seca encontrados en el presente trabajo al ensilar directamente los residuos industriales de mango (cáscara y semilla), pueden considerarse bajos (menores a 26 %) para lograr un adecuado proceso de fermentación y conservación de este recurso alimenticio. De acuerdo a lo reportado por Titterton y Bareeba (2001), al ensilar un forraje con menos de 30 por ciento de MS se puede crear un ambiente totalmente anaeróbico, más apropiado al desarrollo de *clostridium* que a organismos

microaerófilos como las bacterias ácido lácticas. Por otra parte, el agua y los nutrientes hidrosolubles son arrastrados al fondo y escurren en el efluente fuera del silo.

Tabla 22. Efecto del tiempo sobre las variables control del proceso de ensilaje.

Variable control	Tiempo de ensilaje (Días)								P
	0		10		20		40		
Materia seca (%)	25.7	0.349	15.5	0.00	18.6	0.70	19.2	0.43	0.0121
pH	4.2	0.034	3.9	0.00	4.3	0.14	4.7	0.03	<0.0001
Nitrógeno amoniacal (mg/100 ml)	15.6	1.176	16,0	0,00	17.0	1.25	22.3	1.67	0.0675
Nitrógeno Total (mg/100 ml)	181.7	4.334	592.0	0.00	187.8	20.75	135.1	7.69	0.1910
Relación (N Amoniacal/ N Total)	8.6	0.558	2.7	0,00	10.3	1,44	16.7	0,90	0,0227

Promedio ± error estándar.

Igualmente los bajos contenidos de MS indican mayores contenidos de humedad, y por ende se relacionan con la actividad de agua (a_w), de acuerdo a lo reportado por Wilkins, (2005) los *clostridium* son sensibles a la actividad del agua más que por el pH per se. En la tabla 3 se muestra que, un porcentaje de MS de 30 % (300 g/Kg) presenta un valor de actividad de agua de 0,971 y requiere un pH de 4.45 para estabilizarse, pero que materiales con contenido menor de MS, 25 %, la actividad de agua se incrementa a 0.975 y requiere de un pH de 4.35 para estabilizarse, entendiéndose como parte de la estabilización, la inhibición del crecimiento de cualquier tipo de microorganismo. Cuando los materiales contienen mayores niveles de MS, por ejemplo del 40 %, los valores de actividad de agua disminuyen impidiendo más fácilmente la proliferación de *Clostridium*.

Los valores promedios de MS encontrados en los cuatro tiempos evaluados muestran la disminución de los contenidos de materia seca durante el proceso de ensilado, lo que ocurre normalmente cuando se utilizan materiales con bajos contenidos iniciales de MS. La figura 3 demuestra claramente que las pérdidas de MS se aumentan en la medida que los materiales en el momento de ensilar presentan menores porcentajes de MS.

Según lo reportado por Bolsen (1999) en un ensilaje “ideal” los carbohidratos fácilmente disponibles son convertidos por bacterias acidolácticas, principalmente las homofermentativas. Esta actividad disminuye el pH rápidamente y preserva el silo. Incluso

en las mejores condiciones, alguna materia seca se pierde durante la producción de ácido láctico. Sin embargo, los procesos de ensilaje, dada las condiciones de campo, muy rara vez son perfectas. Cuando el oxígeno está presente los carbohidratos son convertidos a dióxido de carbono y agua, acompañado de la generación de considerable calor.

Los Clostridium son los principales microorganismos anaeróbicos que deterioran un ensilaje. Hay dos principales grupos de Clostridium: sacarolíticos y proteolíticos, los primeros fermentan principalmente carbohidratos y ácidos orgánicos produciendo ácido butírico, dióxido de carbono e hidrógeno. Los proteolíticos fermentan principalmente aminoácidos, resultando en una variedad de ácidos orgánicos, dióxido de carbono, amonio y aminas. Esta fermentación resulta en pérdidas de materia seca y energía, pero, lo más importante a tener en cuenta es la producción de ácido butírico, amonio y aminas, las cuales han sido ligadas a la reducción del consumo de alimento ad libitum en rumiantes (Muck 1988).

En este primer ensayo se detectó que los niveles de materia seca normales de los subproductos agroindustriales de mango pueden ser considerados bajos para garantizar un adecuado proceso de fermentación y es tal vez uno de los factores más importantes a tener en cuenta en el momento de diseñar un proceso de ensilaje para este tipo de subproductos agroindustriales.

pH

Los valores promedios de pH de los silos de subproductos agroindustriales de mango en la presente investigación se muestran en la tabla 22 y figura 7. Se reportaron diferencias estadísticamente significativas para el factor tiempo y la interacción tiempo por melaza, ($P < 0.05$). El pH es considerado como una de las principales variables para identificar si se presentó un proceso adecuado de fermentación del material en ensilaje.

El primer valor promedio de pH, reportado como tiempo cero, corresponde a un período de fermentación de 24 horas y fue de 4.2 ± 0.034 , posteriormente en el día 10 se reportó un valor de 3.9; pero en los tiempos superiores, 20 y 40 días, se incrementaron estos valores alcanzando promedios de 4.2 y 4.7 respectivamente.

La figura 7 presenta la interacción entre los factores tiempo y nivel de inclusión de melaza en la variable pH. Al aumentar el tiempo, los valores de pH aumentaron, lo que fue más notorio cuando los niveles de inclusión de melaza fueron de 2.5 y 5 %. En comparación con la no inclusión de melaza.

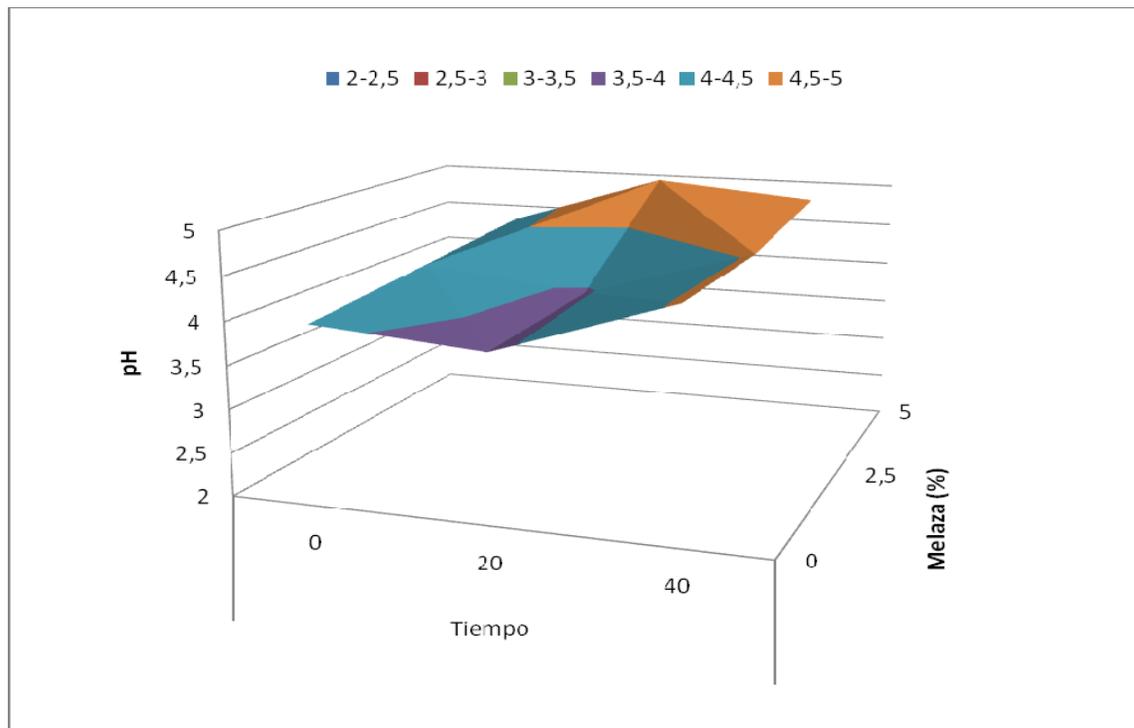


Figura 7. Efecto sobre el pH de la interacción de los factores tiempo y nivel de inclusión de melaza.

Existen diferentes referentes en cuanto a los niveles de pH ideales: Bernal *et al* (2002), expresan que dentro de las características de un buen ensilaje esta el reportar valores inferiores a 4.2 y consideran que un pH de 5,5 refiere de un silo de mala calidad. En los hallazgos del presente estudio, hasta el día 20 los valores de esta variable puede considerarse como adecuados, pero en el día 40 los valores de pH fueron superiores al valor considerado como “adecuado” por estos autores.

Los valores de pH como referentes de la calidad y principalmente de la estabilización del de un silo pueden cambiar debido a varios factores, dentro de los que se destaca la actividad de agua a_w agua y la capacidad tampón del material.

Para el caso de la actividad de agua, como se analizó con la variable anterior (MS), cuando el material ensilado presenta una actividad de agua alta se requiere un pH inferior para alcanzar la inhibición del crecimiento de los microorganismos. Por ello para el caso de los materiales en evaluación por sus elevados contenidos de agua (valores altos de actividad de agua) se requiere que el pH más bajo, Ver tabla 3.

Teniendo en cuenta los valores reportados por Wilkins (2005), ver tabla 3, para un contenido de materia seca de 25 % similar a los reportados en el presente trabajo, la actividad de agua es de 0,975 y a su vez requieren un pH de 4.35. Como se observa en la figura 7 el pH en el día 40 en los diferentes niveles de inclusión de melaza fue superior a 4.5, indicando que en general no alcanzaron una adecuada estabilización.

Kung y Shaver (2001) reportan valores de referencia de pH dependiendo del tipo de material evaluado, para el caso de ensilajes de pasto entre 30 y 35 % de materia seca y leguminosas en rangos de 30 a 40 % de materia seca, el pH fluctúa entre 4.3 y 4.7, mientras que para las leguminosas con contenidos superiores de materia seca 45 a 55 % el pH normalmente es superior (4.7 – 5.0). Estos autores explican que el pH puede ser afectado por la capacidad buffer del material que esta siendo ensilado. Dos muestras pueden tener el mismo pH, pero diferentes concentraciones de ácido. En general los silos de leguminosas presentan pH superiores a los silos de pastos y su proceso es más demorado debido a la capacidad buffer del material. Para el caso de silos de maíz normalmente los valores son inferiores a 3.8.

Si se compara los valores de pH del presente trabajo, con los reportados anteriormente, se puede deducir que los valores de pH identifican algunos problemas en la fermentación y que es necesario identificar éstos factores, para optimizar el proceso de fermentación con los subproductos agroindustriales de mango.

Razones frecuentes por las cuales silos de leguminosas pueden tener valores de pH entre 4.6 y 4.8 están asociadas con ensilar materiales con menos de 30 % de materia seca, lo

cual causa fermentación por Clostridium, generando materiales de baja calidad nutricional (Kung y Shaver, 2001).

Nitrógeno amoniacal y nitrógeno total y su relación

Los niveles de nitrógeno amoniacal (NA) y nitrógeno total (NT) medidos en mg/100 ml no reportaron diferencias estadísticamente significativas para los factores tiempo, inclusión de melaza e inclusión de inóculo ($p > 0.05$), (Anexo 3 y tabla 20) sin embargo, es importante señalar que al final, en el tiempo 40, se presentó una tendencia a aumentar los niveles de nitrógeno amoniacal mientras que los de nitrógeno total permanecieron constantes.

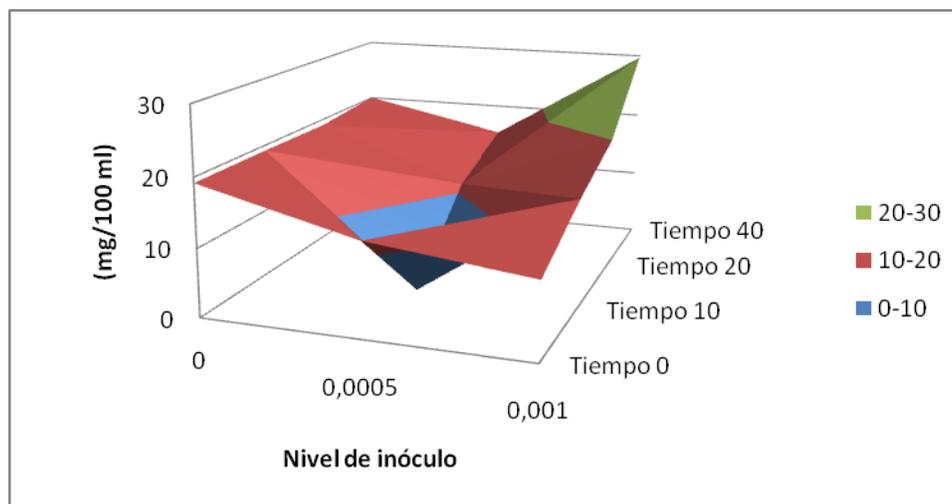


Figura 8. Interacción tiempo por inóculo en la variable nitrógeno amoniacal expresada en (mg/100 ml)

La interacción tiempo por inóculo presentó diferencias en la variable nitrógeno amoniacal, ($P < 0.05$). La figura 8 representa los cambios derivados de la interacción de estos dos factores en esta variable. La tendencia a aumentar los valores de NA en los tiempos 20 y 40 fue significativa para los tratamientos que recibieron inóculo. Lo anterior demuestra que el inóculo no fue efectivo para detener la producción de nitrógeno amoniacal de posibles factores como el crecimiento de microorganismos que facilitan la putrefacción del ensilaje.

Relación nitrógeno amoniacal/nitrógeno total

La relación de nitrógeno amoniacal con respecto al nitrógeno total, medida en porcentaje, presentó diferencias estadísticamente significativas, únicamente en el factor tiempo ($p < 0.05$), (anexo 3 y tabla 20).

En los demás factores (inclusión de melaza, e inclusión de inóculo) y en las interacciones (Tiempo por melaza, tiempo por inóculo, melaza por inóculo) la relación NA/NT no presentó diferencias ($P > 0.05$). Los cambios en los valores evidencian problemas en la fermentación, debido a que en el tiempo cero se reportó un valor promedio de 8.6 %, el cual es considerado como referente de buena fermentación, pasando a 16,7 % en el tiempo 40, el cual se considera indicador de problemas en la fermentación, principalmente por transformación de la proteína del alimento en nitrógeno amoniacal.

Según los valores de la AFRC (1987), citados por Ribeiro *et al.* (2007) un 10 % o menos de nitrógeno amoniacal con respecto al nitrógeno total, indican que el proceso de almacenamiento por fermentación no ha generado degradación excesiva de la proteína en amoniacal y se puede considerar como un indicador de una buena fermentación; pero, valores superiores a 15 % significan que existió una considerable transformación de la proteína.

De acuerdo a Oshima y Macdonals (1978) y Henderson (1993), para que un ensilaje sea considerado con un buen patrón de fermentación, los valores de nitrógeno amoniacal con respecto al nitrógeno total ($N-NH_3/NT$) no deben superar el 8 al 10 %. De acuerdo a los valores encontrados en el presente trabajo en el tiempo 20 aun existía una adecuada fermentación, pero en el tiempo 40 ya se evidenciaban problemas en la misma.

Las comparaciones con los anteriores referentes indican que parte de la proteína del ensilaje de subproductos del mango se transformó en nitrógeno amoniacal, posiblemente, la principal razón fue debido a los procesos de fermentación con microorganismos como *Clostridium*, que se desarrollan a expensas de la proteína del alimento y generan mayores cantidades de ácido propiónico. Oshima y Mcdonals (1978). Aunque es importante aclarar

que también se presentan proceso de deterioro de las células de los vegetales por factores enzimáticos propios de los materiales.

Muchos de los procesos indeseables, los cuales afectan directamente la calidad del ensilaje, son dependientes del pH, por ejemplo una extensa proteólisis esta estrechamente relacionada con la velocidad de disminución de pH y están aparentemente ligadas a proteasas propias del alimento que se ensila, cuya actividad disminuye con el pH, aunque alguna actividad de las mismas permanece por debajo de pH 4, (Jones, 1995). Con los subproductos industriales de mango, además de la posible actividad de los *Clostridium* como transformadores de la proteína, pudo existir efecto de la enzimas proteasas propias del alimento, ya que aunque el pH disminuyó adecuadamente los primeros 10 días, en los reportes de pH promedio de los días 20 y 40 el pH fue de 4.3 y 4.7 respectivamente, el cual podría contribuir con reactivación de la actividad enzimática.

Todo lo anterior evidencia que se presentaron problemas en la fermentación y que dos de los posibles factores más estrechamente relacionados fueron los bajos niveles de materia seca del material ensilado, factor que se estimó como el más importante a corregir en el segundo ensayo realizado, dentro del diseño de un proceso adecuado de conservación de los subproductos objeto de estudio.

Los dos principales problemas detectados en el primer ensayo fueron: a) la transformación de la proteína en amoníaco y b) la disminución de la materia seca. Los dos pudieron tener como coadyuvante, la no total hermeticidad de los microsilos de bolsa plástica (polietileno) motivo por el cual para el segundo ensayo se optó por el diseño de microsilos de PVC reportados en la literatura, como el caso de Doane, *et al.* (1998)

La tabla 23 presenta el efecto de la adición de carbohidratos solubles sobre los patrones de fermentación del ensilaje de subproductos agroindustriales del mango: La única variable que presentó diferencias estadísticamente significativas fue el pH el cual se mantuvo igual en las concentraciones 0 y 2,5% de melaza añadida con valores de 4.2 y 4,1 respectivamente, pero aumentó a 4,6 cuando el nivel un nivel de melaza fue de 5 %. (P< 0.05)

Con la adición de melaza se esperaba mejorar los patrones de fermentación, sin embargo, los valores de pH reportados dan cuenta de lo contrario. Posiblemente al aumentar los niveles de carbohidratos solubles en el ensilaje, éstos fueron utilizados por microorganismos indeseables como los *Clostridium*, con la correspondiente inadecuada fermentación, mayor transformación de la proteína en nitrógeno amoniacal, lo cual a su vez determinó mayores valores de pH.

Los resultados encontrados en el presente trabajo con subproductos difieren de los reportes de diferentes autores quienes señalan que la adición de melaza tiene un efecto positivo en los patrones de fermentación, pero un costo mayor.

Las variable Materia seca se mantuvo estable con la adición de melaza ($P>0.05$), Igual ocurrió con la relación $N-NH_3/NT$ y los dos tipos de nitrógeno evaluados ($P>0.05$). Al no existir diferencias estadísticas se asume que la adición de melaza no mejoró, ni afecto negativamente el proceso de fermentación, cuando éste último se evalúa teniendo en cuenta estas variables control.

Tabla 23. Efecto de la cantidad de carbohidratos solubles añadidos (melaza) sobre las variables control del proceso de ensilaje.

Variable control	Nivel de inclusión de melaza (%)						P
	0,0		2,5		5,0		
Materia seca (%)	21.2	0.93	18.4	0.77	22.3	1.01	0.1959
pH	4.2	0.07	4.1	0.09	4.6	0.07	0.0005
Nitrógeno amoniacal (mg/100 ml)	17.7	1.32	17.0	0.55	20.3	1.99	0.2270
Nitrógeno Total (mg/100 ml)	145.9	9.08	327.8	5.93	169.5	5.69	0.5028
Relación (N Amoniacal/ N Total)	13.0	1.23	7.9	1.41	12.4	1.47	0.5367

Promedio \pm error estándar.

El anexo 3 presenta el análisis de varianza del efecto de la adición de inoculante (microorganismos y enzimas) sobre las variables control del proceso se ensilaje el cual se resume en la tabla 24. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para ninguna de las variables evaluadas. ($p>0.05$)

La materia seca de los materiales ensilados no presentó cambios por efecto de la adición de inóculo a los microsilos evaluados.

Tabla 24. Efecto de la cantidad de Inoculante (Microorganismos y enzimas) sobre las variables control del proceso de ensilaje.

	Nivel de inclusión de inóculo (%)								
	0,0	0,0005	0,00075	0,001*	P				
Materia seca (%)	22.1	0.91	20.7	1.23	15.6	0.00	21.16	0.92	0.5130
pH	4.4	0.07	4.5	0.11	3.9	0.00	4.3	0.09	0.4782
Nitrógeno amoniacal (mg/100 ml)	19.9	0.88	13.3	0.52	16.0	0.00	20.4	2.43	0.9757
Nitrógeno Total (mg/100 ml)	171.6	14.30	142.8	7.36	592.0	0.00	159.55	7.23	0.7711
Relación (N Amoniacal/ N Total)	12.7	1.02	9.9	0.93	2.7	0.00	13.6	1.84	0.9428

Promedio \pm error estándar. *Correspondientes a 10 gr. por tonelada.

De acuerdo a Jones (1995), las principales pérdidas en los silos son los efluentes generados, los cuales a su vez están determinados por muchos factores, dentro de los que se destacan el contenido de materia seca, como el de mayor importancia, el tipo de material ensilado, la especie, la edad y el uso de algunos aditivos. Aparentemente la producción de efluentes en silos inoculados es menor que en silos sin tratamiento, a excepción de algunos silos en los que se han utilizado materiales con contenidos menores de 14.5 % de materia seca.

Es importante anotar que dadas las características propias de los silos de bolsa, estos en general no permitían la salida de efluentes. Indirectamente se pudo observar que la gran mayoría de silos con los subproductos de mango presentaban excesos de agua en el exterior que podrían ser considerados efluentes. La confirmación de que hubo un aumento de efluentes esta en los cambios (disminución) en los niveles de materia seca cuando se evaluó esta variable teniendo como factor el tiempo de ensilaje. Por ende se puede utilizar los niveles finales de materia seca como referente de la producción de efluentes.

Los resultados en este estudio con subproductos de mango muestran que el tipo de microorganismos utilizados (*Lactobacillus plantarum* 4.5×10^{10} UFC/g, *Pediococcus*

acidilactici 4.4×10^{10} UFC/g y *Streptococcus faecium* 1.0×10^{10} UFC/g) no presentaron efectos en la cantidad de materia seca total y por ende en la cantidad de efluentes generados.

Las variables pH, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total y principalmente la relación nitrógeno amoniacal con respecto al nitrógeno total no presentaron diferencias por efecto del uso del inoculante ($P > 0.05$).

Se esperaba que el inoculante mejorara el proceso de fermentación y por ende en la medida que incrementaba en tiempo se disminuyera el valor de pH en los ensilajes. Para el presente estudio se puede observar una ligera tendencia a disminuir el pH, la cual puede considerarse como indicador de la mejora de los procesos de fermentación, pero no lo suficiente representativa como para recomendar el uso del mismo en el proceso de ensilaje.

Una posible explicación para que los cambios de pH no fueran estadísticamente significativos por el uso de inoculante, es que probablemente los materiales por si solos presentan suficiente cantidad de microorganismos ácido lácticos epífitos y que la adición de bacterias ácido lácticas con el inoculo no alteró el comportamiento del proceso de fermentación y sus variables control. Jones (1995), reporta que la magnitud y composición de la población epífitita de materiales forrajeros recién cosechados listos para ensilar puede cambiar al extremo, reportando un número variable de bacterias en un rango que va desde < 10 Unidades formadoras de colonia por gramo (UFC/g) a cantidades en exceso de 10^3 UFC/g.

La relación Nitrógeno amoniacal/ Nitrógeno total no se modificó por efecto del inoculante ($p > 0.05$). Se esperaba que con la adición del inoculante un mejor patrón de fermentación y por ende menor transformación de las proteínas en nitrógeno amoniacal; sin embargo, los valores permanecieron constantes y en general por fuera del rango (< 10) considerado como indicador de un buen patrón de fermentación. El no efecto del inóculo en los cambios de la relación $N-NH_3/NT$ se debe posiblemente a que gran parte del efecto del inóculo se logra por la disminución rápida del pH, como resultado de una fermentación mejor y más rápida de los carbohidratos solubles, por acción directa de los microorganismos ácido lácticos añadidos. Como se mencionó anteriormente el pH no se

modificó por efecto del inóculo y esto se correlacionó con el efecto final del inóculo en las variables control del proceso fermentativo.

Bolsen (1999) recomendó el uso de inoculantes bacterianos para todo tipo de forraje ensilado, basándose en resultados de más de 200 estudios de laboratorio y 28 ensayos en fincas, donde este tipo de aditivo mejoró consistentemente la eficiencia de la fermentación, la recuperación de la MS, la conversión alimentaria y el aumento de peso por tonelada de ensilaje de maíz y sorgo forrajero.

El inoculante utilizado contaba también con la presencia de enzimas las cuales de acuerdo a los resultados encontrados no presentó efecto sobre la cantidad de materia seca, pH, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total y la relación entre las dos últimas variables ($p > 0.05$). Las enzimas utilizadas fueron amilasas 2000 BAU/g, hemicelulasas 4 XU/g, pentosanasas 200 XU/g.

Con el mismo producto utilizado en el presente ensayo, Mühlbach (2001) reportó que cuando utilizó una mezcla de inoculante/enzima (Sill-All®) para ensilar forrajes de clima templado, producidos en condiciones subtropicales, mejoró la calidad de la fermentación de la avena forrajera (*Avena strigosa*) no marchita y redujo el contenido de NDF en alfalfa, marchita y no marchita. Las complejas interacciones que ocurren al agregar esta mezcla no se han explicado completamente y los resultados de ensayos previos fueron erráticos. Los primeros productos se derivaron de complejos que contenían cantidades mal definidas de diversas enzimas obtenidas de fermentaciones no muy elaboradas de hongos y los resultados fueron inconsistentes por dosis de aplicación muy variables, especies de plantas, madurez de la planta y por el contenido de MS de los materiales.

Otros resultados de ensayos donde las enzimas fueron agregadas al ensilaje de maíz presentan aspectos contradictorios, sin efectos claros sobre las características de la fermentación, a pesar de una reducción de contenidos de ADF, NDF, y hemicelulosa (Sheperd y Kung, 1996). Resultados positivos con el uso de celulasa en combinación con ácido orgánico han sido publicados en estudios de ensilaje de pastos forrajeros de climas templados (Nadeau *et al.* 1996).

En general se esperaba que con las enzimas adicionadas con el inoculante la transformación del material fibroso FDN en carbohidratos más rápidamente solubles y estos a su vez se convirtieran en energía rápida para los microorganismos fermentadores, sin embargo, los valores de pH reportados hacen suponer que esto no ocurrió con la adición el inóculo a los subproductos de mango.

El anexo 3 presenta los resultados del análisis estadístico de las interacciones tiempo por melaza, tiempo por inóculo y melaza por inóculo en donde se puede observar que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$).

5.3.2. Ensayo 2. Ensilajes en PVC.

Debido a los resultados del primer ensayo se evaluó el efecto de inclusión de harina de arroz para aumentar los niveles de materia seca en el ensilaje y buscar una mejor fermentación, los porcentajes de inclusión fueron del 15 y 30 % del total del peso del ensilaje. El anexo 4 presenta el diseño general de los tubos de PVC.

La tabla 25 presenta los resultados en las variables: MS, pH, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total y su relación, las cuales fueron registradas como indicadores del proceso de fermentación en especial para verificar los cambios en las mismas por efecto del tiempo de fermentación y la inclusión de de harina de arroz.

Materia seca

Los niveles de materia seca, tal y como se pretendía, aumentaron con el nivel de inclusión de la harina de arroz ($P>0.05$) pasando de 20 % en los residuos de mango, con cero inclusión de harina de arroz, a concentraciones de materia seca en el silo de 35% y 44 % para los niveles de inclusión de harina de arroz de 15 y 30 % respectivamente. Como se discutió en el primer ensayo el nivel de materia seca de un ensilaje debe ser superior a 30 % (Titterton y Bareeba, 2001), para garantizar un buen proceso de fermentación.

Tabla 25. Efecto del tiempo y la inclusión de harina de arroz sobre las variables MS, pH, NA, NT y la relación NA/NT en ensayos con silos de PVC.

Variable	Tiempo cero			Tiempo 30			Factor		
	Nivel de inclusión Harina de Arroz			Nivel de inclusión Harina de Arroz			Tiempo	Inclusión	Tiempo por inclusión
	0	15	30	0	15	30		P	
Materia seca (%)	24.5	35.81	48.7	17.2	30.1	41.13	0.0001	0.0001	0.0001
pH	3.52	4.51	5.03	3.33	3.45	3.95	0.0011	<0.0001	0.9176
Nitrógeno amoniacal (mg/100 ml)	26.65	25.63	43.67	16.45	28.4	148.93	0.0004	<0.0001	0.0001
Nitrógeno Total (mg/100 ml)	76.8	401.6	780.8	103.4	380	759.5	0.9074	<0.0001	0.0001
Relación (N Amoniacal/ N Total)	34	6	5	17	15	19	0.8843	0.1490	0.0810

Debido a que la MS presentó diferencias en los dos factores evaluados (a. tiempo y b. nivel de inclusión) y en la interacción tiempo por inclusión ($P < 0.05$), la figura 9 permite entender el comportamiento de esta variable. Al igual que en el primer ensayo, al aumentar el tiempo, con un mismo porcentaje de inclusión de HA, los niveles de materia seca disminuyeron, por factores de pérdidas ya analizadas ampliamente, sin embargo, la figura permite evidenciar dos cosas importantes: A. Las pérdidas no fueron tan significativas como las del primer ensayo y B. en la medida que aumenta el nivel de inclusión de HA las pérdidas son inferiores.

pH.

Al comparar el tiempo inicial (0 días) y final de ensilaje (30 días) se observa la disminución en el pH y en los contenidos de nitrógeno amoniacal, lo que indica un adecuado proceso de fermentación de los materiales en evaluación. Lo anterior señala que en general todos los ensilajes evaluados presentaron un adecuado comportamiento. Aunque la relación nitrógeno amoniacal y nitrógeno total aumento ligeramente pasando de 15 % a 18 %, los dos valores quedan en el rango de aceptable.

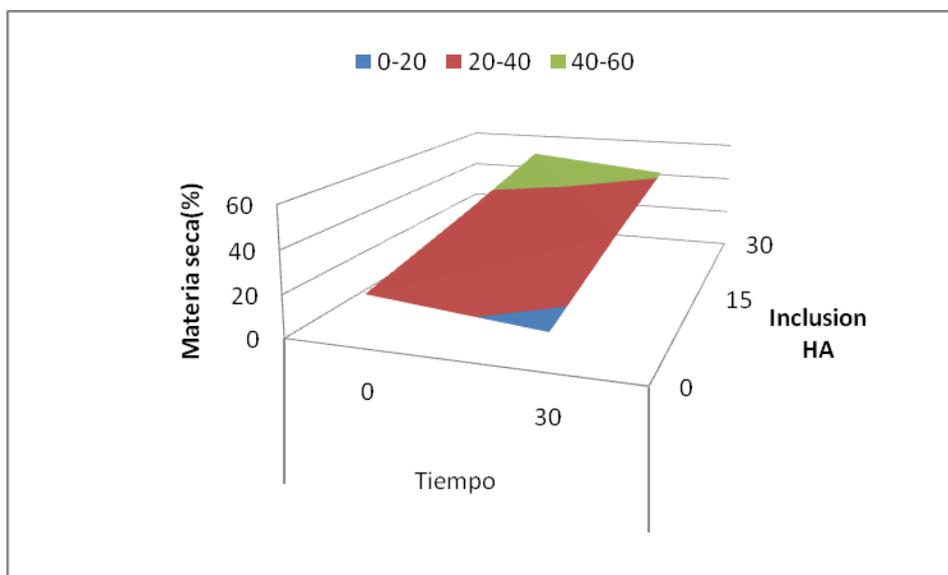


Figura 9. Efecto de los factores Tiempo e inclusión de Harina de arroz (HA), sobre el porcentaje de materia seca del ensilaje.

Los aumentos de materia seca por inclusión de la Harina de arroz conllevaron efectos positivos en los proceso de fermentación. El pH final se mantuvo en rangos que evidencian buen proceso de fermentación 4.3, 4.5, 4.4 para los niveles de inclusión de 0, 15 y 30 % respectivamente. Los valores de la relación nitrógeno amoniacal / nitrógeno total disminuyeron considerablemente al aumentar los niveles de inclusión de harina de arroz pasando de 24 % en 0 % de inclusión a 6.4 % y 14 % para los niveles de inclusión 15 y 30 % respectivamente ($P>0.05$) Los anteriores indicadores señalan que la inclusión de una materia prima que aumente las cantidades de materia seca de los subproductos de mango garantiza un mejor proceso de fermentación y evita riesgos inherentes de ensilar los subproductos de mango sin la inclusión de materiales que mejoren su fermentabilidad.

Con un porcentaje de inclusión del harina de arroz del 15 % se obtuvo la mejor relación $N-NH_3/NT$ de todos los silos evaluados. Según Kung y Shaver (2001) niveles de ésta relación inferiores a 10 % son considerados excelentes y garantía de adecuada fermentación y escaso deterioro de la proteína por efecto de enzimas proteolíticas o crecimiento de *clostridium*.

En general los resultados confirman la necesidad de mejorar el proceso de fermentación a través de un proceso que disminuya el contenido de humedad del silo en el momento de su elaboración, en este caso el uso de una materia prima de alta concentración de materia seca, como la harina de cualquier cereal es viable para mejorar la fermentación, garantizar una mejor conservación del material ensilado y que los nutrientes del silo no se deterioren.

5.3.3. Proceso de ensilaje.

Teniendo en cuenta los resultados y experiencias obtenidas en los dos ensayos se plantea un proceso de ensilaje de los subproductos agroindustriales del mango como estrategia para su conservación. La figura 10 presenta el flujo de proceso para el ensilaje propuesto.

Los pasos propuestos son:

a. Obtención de subproductos

Si el flujo de proceso de la planta permite la obtención por separado de los subproductos del mango, se optimiza el proceso, ya que lo ideal es el picado por separado de la semilla y cáscara debido la mayor dureza de la primera.

Igualmente, dentro de la optimización del uso de recursos en la planta de procesamiento de frutas, se recomienda buscar otro uso alternativo a la semilla, dentro de los reportados en la literatura como posible fuente de aceite, ya que como se demostró durante el presente trabajo, la semilla, aunque no es descartable para su uso en alimentación de rumiantes, no es una materia prima de gran potencial.

b. Picado por separado de los materiales.

El fraccionamiento de los materiales es relativamente fácil a través de cualquier picapasto con potencia mínima de 1 caballo de fuerza. Aunque, no es estrictamente necesario, se recomienda fraccionar por separado la semilla y la cáscara. Para mejores resultados el

tamaño de partícula debe ser entre 1 y 3 cm. de largo en los dos tipos de materiales. Se debe evitar el fraccionamiento excesivo de los materiales.

c. Mezcla de subproductos

Integrar los dos tipos de subproductos hasta que se genere una mezcla homogénea

c. Ajuste del contenido de materia seca:

Teniendo en cuenta que los subproductos en general no superan los contenidos de materia seca de 22 % y 33 % para la cáscara y semilla respectivamente, se debe utilizar una materia prima de bajo costo, en el momento de utilizarlo, con alto contenido de materia seca, mínimo 88 %, como es el caso de la harina de arroz. Se debe ajustar la cantidad final de materia seca en la mezcla a un porcentaje mínimo del 30 %, para garantizar mejores patrones de fermentación durante el ensilaje.

d. Llenado de bolsas o canecas plásticas

En el ámbito de la producción animal se recomienda el uso de bolsas plásticas con un calibre mínimo de 6 o 7. Se recomienda ajustar el tamaño de las bolsas, al tamaño de los sacos de concentrado ya que el recubrir la bolsa plástica con este tipo de material le asegura una mayor protección.

Si se ensila en canecas plásticas con tapa, asegúrese de dejar una válvula de escape para los gases producidos durante la etapa de respiración inicial. La válvula de escape debe estar conectada a una manguera con desfogue sumergido en agua, de tal forma que se impida la entrada de oxígeno al silo, pero que los gases sean liberados a través de este mecanismo.

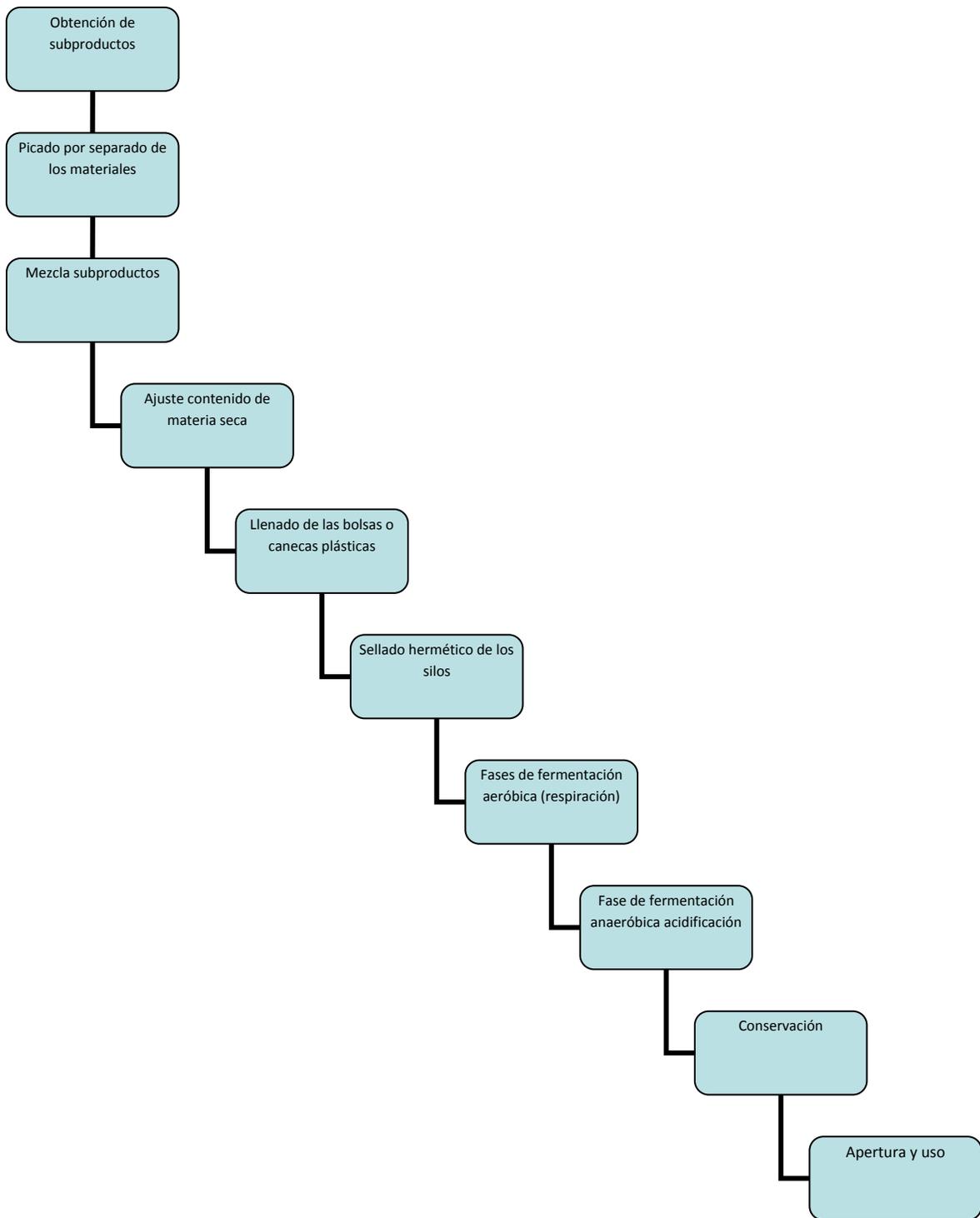


Figura 10. Flujo de proceso ensilaje de subproductos agroindustriales de mango para su conservación para uso en alimentación animal

e. Sellado hermético de los silos

Los silos se deben sellar lo más herméticamente posible para impedir la entrada de oxígeno.

f. Fase de respiración aeróbica (fermentación)

Para el caso de las canecas plásticas que se sellan herméticamente es necesario que los primeros 5 días se controle la salida de los gases producidos por el proceso de respiración del material.

g. Fase de fermentación

Se debe dejar fermentar el material un mínimo de 30 días a partir del sellado de los silos en lugares frescos y cubiertos, sin incidencia directa de rayos solares.

f. Conservación

Debido a la estacionalidad de la producción de mango en el país y a que el objetivo principal de este tipo de tecnologías es conservar el material para un suministro en épocas de mayor escasez de forrajes se recomienda conservar el producto hasta por un máximo de un año.

CONCLUSIONES

Los subproductos agroindustriales de mango, semilla y cascara, presentan un alto potencial como recurso alimenticio, para alimentación de rumiantes, en especial la cascara, por su composición de carbohidratos solubles, degradabilidad en el rumen y aporte de energía metabolizable al animal. El problema de la estacionalidad en la producción de subproductos, puede ser superado con un adecuado proceso de ensilaje, adicionando productos que aumenten sus contenidos de materia seca para mejorar sus patrones de fermentación

La cáscara de mango se caracteriza por su mejor calidad nutritiva, en comparación con la semilla; principalmente por sus contenidos de carbohidratos totales y en especial por su alto contenido de carbohidratos no estructurales, dentro de los que se destaca la fracción de azúcares, de alta degradabilidad y aporte energético.

Los subproductos agroindustriales cáscara y semilla de la variedad Tommy reportaron un mejor perfil nutricional que la variedad Keitt; representado, en mayores porcentajes de materia seca, proteína cruda, carbohidratos no estructurales y menores porcentajes de FDN, lignina y fracción C de la proteína la cual es indigestible.

Los niveles de fibra en detergente neutro (FDN) y los porcentajes de carbohidratos estructurales, fueron superiores en la semilla de mango en comparación con la cáscara y en especial en la variedad Keitt, en donde alcanzaron valores de FDN de 43 % de la materia seca y de carbohidratos estructurales de 46 % en relación con el total de carbohidratos.

Los contenidos de lignina cuantificados como porcentaje de la materia seca fueron inferiores en la cáscara y semilla de la variedad Tommy atkins, en comparación con la variedad Keitt la cual alcanzó valores de 7.9 % y 9.0 % los cuales pueden potencialmente disminuir la degradabilidad de la fracción fibrosa de los residuos evaluados.

Las cantidades de proteína cruda en los dos tipos de residuos evaluados, cáscara y semilla, fueron muy bajas y en su gran mayoría de baja disponibilidad para el animal,

lo que determina que el potencial de éste tipo de subproductos, no se basa en éste nutriente sino en el contenido y composición de sus carbohidratos.

La degradabilidad de la materia seca fue superior en la cáscara de mango en comparación con la semilla. Los parámetros estimados del modelo de Orskov identifican a la cáscara como un material de alta solubilidad y degradabilidad inicial 64 % en las dos variedades evaluadas, a diferencia de la semilla con valores de 24% y 30 %, para Tommy y Keitt respectivamente, posiblemente correlacionada con la alta cantidad de fracciones A y B1 de los carbohidratos.

La tasa de degradabilidad (parámetro c), en la cáscara de mango fue superior en comparación con la semilla, en las dos variedades evaluadas. Idéntico patrón presentó la degradabilidad efectiva evaluada a diferentes tasas de pasaje del material en el rumen.

Los valores determinados en el calorímetro y estimados por ecuaciones, identifican a la cáscara de mango como un material con un buen nivel energético, generado principalmente por los altos contenidos de carbohidratos no estructurales.

En los residuos de mango no se detectaron factores antinutricionales saponinas y taninos que pudieran modificar la degradabilidad o la digestibilidad del alimento.

En los procesos de conservación por ensilaje el principal factor a tener en cuenta son los bajos contenidos de materia seca de los subproductos agroindustriales de mango, los cuales inducen a patrones de fermentación inadecuados y permiten la pérdida por respiración, de parte del material ensilado y de nutrientes del mismo.

No se presentaron cambios importantes en los patrones de fermentación de los ensilajes de los subproductos agroindustriales evaluados, por el uso de aditivos como la melaza e inóculos de enzimas y bacterias ácido lácticas, lo que indica que los materiales presentan suficiente cantidad de carbohidratos solubles y el proceso involucra suficiente presencia de bacterias que promueven un adecuada fermentación de los materiales, lo que hace que el proceso de conservación sea más económico.

La inclusión de harina de arroz en niveles del 15% y el 30% dentro de la mezcla de residuos industriales de mango para ensilaje, mejoraron los indicadores de fermentación pH, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total y la relación entre estos dos últimos.

La simulación de los procesos de fermentación y respuesta productiva en el animal con el modelo mecanístico CPCPS señala las ventajas de utilizar los residuos agroindustriales del mango como suplemento en un sistema de producción de leche, aumentando el potencial de producción de leche por energía metabolizable en el animal.

RECOMENDACIONES

Se sugiere evaluar el consumo de materia seca de los subproductos semilla y mango en fresco y ensilados, en condiciones prácticas de manejo

Establecer la respuesta productiva de los animales en cuanto a leche y carne y posibles cambios en la composición en estos productos, a diferentes niveles de suplementación, en especial de remplazo de concentrado comercial evaluando el impacto económico en la explotación.

Evaluar el efecto de la inclusión a diferentes niveles de materias primas de alto contenido en materia seca y calidad nutritiva, para aumentar el porcentaje de materia seca total y su calidad nutritiva, especialmente en proteína, en el material ensilado y mejorar los patrones de fermentación de los subproductos industriales de mango.

BIBLIOGRAFIA

ABDALLA E. M AHMED, DARWISH, S.M., EMANS, H.E. REHEM M EL HAMAHMY. 2007. Egyptian mango by product 1. Compositional quality of mango seed kernel. Food chemistry 103: 1134 1140.

AOAC. International, 2003. Official Methods of analysis of AOAC International. 17 th Edition, Current Through revision # 2 AOAC INTERNATIONAL, 481 N Frederick Ave, Suite 500 Gaithersburg, MD 20877 – 2417.

AFANADOR, G. 2000. Evaluación estratégica de recursos no convencionales. Documento memorias curso, análisis de prospectiva de la alimentación comercial de aves. Postgrado Nutrición Animal Aplicada. Corporación Universitaria de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA. 40 p.

AGROCADENAS, 2006 a. La industria procesadora de frutas y hortalizas en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio agrocaldenas. Disponible en Internet: <http://www.agrocaldenas.gov.co /documentos/anuario2005/capitulo7hotifruticola.pdf>. Consultado diciembre 20 de 2009.

AGROCADENAS, 2006 b. Anexo estadístico de la Agroindustria Hortifrutícola (Actualizado 2006) Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio agrocaldenas. Disponible en Internet: <http://www.agrocaldenas.gov.co/home.htm>, Consultado diciembre 23 de 2009.

AGROCADENAS, 2006 c. Anexo estadístico de la Industria de Alimentos Balanceados en Colombia (Actualizado 2006) Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio agrocaldenas. Disponible en Internet: <http://www.agrocaldenas.gov.co/home.htm>, Consultado diciembre 23 de 2009.

ARREAZA, L. 2002. Manejo de la proteína en la producción de ganado bovino. Fraccionamiento de la proteína cruda en indicadores en la formulación de raciones para rumiantes. Disponible en internet: <http://www.corpoica.org.co/sitiocorpoica/corpoica/publicaciones /si bovinos 2002. Luís C Arreaza.pdf>. Fecha de consulta: 22 de agosto de 2007.

ASOCIACION NATURLAND, 2000. Agricultura orgánica en el trópico y subtrópico. Guías de 18 cultivos. Mango. Primera edición. 40 p. Disponible en internet: <http://proamo.org/biblioteca/naturland/mango.pdf> Fecha de consulta: 20 octubre de 2009.

BARAHONA, R ROLANDO y SANCHEZ P SOLANGE. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. Revista Corpoica. Vol 6, 1: 69-81.

BARRIOS, A., FONDEVILA, M. y CASTRILLO, C. 2003. Effect of supplementation with different proportions of barley grain or citrus pulp on the digestive utilization of ammonia treated straw by sheep. *Journal Animal Sci.* 76, 309 – 317.

BAMPIDIS, V.A. y ROBINSON P.H., 2005. Citrus by-products as ruminant feeds: A review Department of Animal Science, University of California, Davis, CA 95616, USA. *Animal feed Science and technology.* 28: 175 – 217.

BETANCOURT, M., MARTÍNEZ, M., BRAVO, J., RAZZ, R. y CLAVERO T. 2003. Efecto de la melaza, ácido fórmico y tiempo de fermentación sobre el contenido de proteína cruda y nitrógeno amoniacal en ensilaje de *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical* 21: 289-300

BOLSEN, K. K. 1999. Silage management in North America in the 1990s. In: *Biotechnology in the Feed Industry. Proc. of the 15th. Annual Symposium.*, Nottingham, UK. p 233-244.

CARPINTERO, C.M., HENDERSON, A.R. y MCDONALD, P. 1979. The effect of some pre-treatments on proteolysis during the ensiling of herbage. *Journal. British Grassland. Soc.* 34: 311.

CASTELLO LUIS, 2009. Biocombustibles y seguridad alimentaria. Documento FAO. Disponible en internet: <http://www.fao.org/co/articbiocomb.pdf>. Consultado: Diciembre 22 de 2009.

CABRALES, ROBERTO; MONTOYA, RAFAEL AND RIVERA, JAIME. 2007. Evaluación agronómica de genotipos de sorgo y millo (*sorghum vulgare*) forrajeros para alimentación de bovinos en el Medio Sinú. *Rev.MVZ Cordoba* vol.12, n.2:1036-1041.

CORNELL, J. A. 1990. How to apply response surface methodology. In: J. L. Lau. (ed.) *The basic references in quality control statistical techniques.* No. 8. p 1-81. BookCrafters, Milwaukee, Wisconsin.

CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL -CCI- (2001), “Perfil de producto: bebidas a base de frutas”, en *Boletín SIM*, No. 14, octubre-diciembre.

CHASE L. E. 2008. Quick tips for using CNCPS v 6.1. Department of Animal Science, Cornell University. Disponible en Internet: <http://www.cncps.cornell.edu/downloads.htm>.

CUESTA P ANTONIO, 2005. Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones caribe y valles interandinos. Manual técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Subdirección de Investigación e Innovación, Red de recursos forrajeros 96 P.

CUESTA, P. A. y CONDE, P. A. 2002. Fuentes nitrogenadas para el mejoramiento de materiales toscos y su efecto en la alimentación de rumiantes estudio de caso: palma africana. En: Chamorro, D. R.; Barahona, R.; Arreaza, L. C.; Conde, A y Cuesta, A. 2002. (eds). *Manejo de la proteína en la Producción de Ganado Bovino*. Bogota, Neiva y Cartagena. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –CORPOICA; Agencia Colombiana de Cooperación Internacional ACCI, Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural, Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas UDCA. Septiembre 23 al 30 del 2002.

DOANE, P. H., PELL, A. N., SCHOFIELD, P. 1998. Ensiling effects of the ethanol fractionation of forages using gas production. *J. Anim Sci.* 76: 888-895.

EROAROME, MARTIN A. 2000. Chemical composition and nutritive value of some tropical by products feedstuffs for small ruminants, in vivo and in vitro digestibility. *Animal Feed Science and Technology.* 85 : 99 109.

ESPINAL, C., MARTÍNEZ, H. y ACEVEDO, 2005. La cadena de la carne bovina en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica, 1991- 2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, observatorio agro cadenas Colombia. Documento de trabajo número 73. 39 pp.

FAO, 2000. The state of food insecurity in the world- Food and agriculture Organization of the United Nation. Documento electrónico. Disponible en Internet en: www.fao.org

FAO, 2009 a. The FAO Statistical Database (FAOSTAT). Producción de frutas tropicales en Colombia en el contexto internacional. Disponible en Internet en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

FAO, 2009 b. More than 1.02 billion hungry people. Documento electrónico FAO. Incluye estadísticas por país. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/hunger/en/>. Consultado en diciembre 28 de 2009.

FEDEGAN, 2005. Plan estratégico de la ganadería colombiana 2005 – 2019. Documento electrónico. Federación Colombiana de Ganaderos. 139 p.

FOX, D.G., SNIFFEN, C.J., O'CONNOR, J.D., RUSSELL, J.B. Y VAN SOEST, P.J. 1992 A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III Cattle diets and diet adequacy. *Journal of animal Science.* 70:3578-3596.

FUKUSHIMA, R. S., DEHORITY, B. A. 2000. Feasibility of using lignin isolated from forages by solubilization in acetyl bromide as a standard for lignin analyses *J. Anim Sci.* 78: 3135-3143

HALL, B MARY, BETTY A LEWIS, PETER J VAN SOEST y LARRY E CHASE. 1997. A simple method for estimation of neutral detergent soluble fibre. *Journal Science Food Agriculture.* 74: 441 – 449.

HALL, B MARY, WILLIAM H HOOVER, JOCELYN P JENNINGS y TAMMY K MILLER. 1999. A method for partitioning neutral detergent soluble carbohydrates. *Journal of the science of food and agriculture.* 79: 2079 -2086.

HENDERSON, N. 1993. Silage additive. *Animal feed science technology.* 45: 35 – 56.

HERNANDEZ G. F. L., BRIBONES, A. Y UBEDA J. 2004. Aprovechamiento de subproductos agrícolas en la alimentación animal. *Ganadería, Año 4,* 26: 64- 67.

HERNANDEZ, RODRIGO y CASTIBLANCO, DAVID. 2009. Efectos sobre la producción y calidad de leche de un sistema silvopastoril de sombra con aliso. Trabajo de grado para optar el título de Zootecnista. Facultad de Ciencias agropecuarias, Universidad de la Salle. Bogotá. En edición.

- HORNEY RUSSEL. 2008. Making Good Silage - Frequently Asked Question. Government of Alberta. Agriculture and rural development. Ag info Centre. Disponible en internet: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/faq7051?opendocument](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/faq7051?opendocument).
- JONES, R 1995. Role of biological additives in crop conservation. Biotechnology in the feed industry. Proceedings of Alltech's 11th Annual Symposium, 1995, Alltech UK.
- JUAREZ, LAGUNEZ, F.I. D.G. FOX, R.W. BLAKE, and N. PELL. 1999. Evaluation of tropical grasses for Milk production by Dual purpose cows in tropical Mexico. Journal of Dairy science 82: 2136 – 2145.
- KAYOULI, C. y LEE, S, 2001. Silage from by-products for smallholders. In: Silage Making in the Tropics with Particular Emphasis on Smallholders. Proceedings of the FAO Electronic Conference on Tropical Silage, Roma. p 196.
- HUI. Y. H. 2006 . Food science technology and engineering. Vol 1 CRC Press Taylor and Francus Group.. pp. 2418 – 2419 Boca Raton Florida.
- KUNG, LIMIN y SHAVER, RANDY. 2001. Interpretation and use of silage, fermentation analysis reports. Focus on forage 13(13): 1-6.
- LARRAHONDO J E. 1985. Productos naturales: pruebas químicas iniciales en una planta. Guía de estudio del Departamento de Química, Universidad del Valle 1985 10 pp
- LICITRA, G., HERNANDEZ, T.M. y VAN SOEST, P.J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Animal Feed Science and Technology 57: 347-358.
- MANNETJE, L. T. 2001. Introduction to the conference on silage making in the tropics. In: Silage Making in the Tropics with Particular Emphasis on Smallholders. Proceedings of the FAO Electronic Conference on Tropical Silage, Roma. p 196.
- MEJIA GIRALDO. L.F. ; H.A. MARTINEZ CORREA, BETANCOURT GUTIERREZ T.E. Y CASTRILLON. C.E. 2007. Aprovechamiento del residuo agroindustrial de mango común (*Mangifera indica*) en la obtención de azúcares fermentables. Ingeniería y ciencia Vol. 3 No 6: 41- 62.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA y DESARROLLO RURAL, 2005. La cadena de cereales, alimentos balanceados para animales, avicultura y porcicultura en Colombia. Observatorio agro cadenas. Documento de trabajo número 87. 95 p.
- MUCK, R. E. 1988. Factors influencing silage quality and their implications for management. Journal Dairy Science 71: 2992-3002.
- MÜHLBACH, P. R. F. 2001. Additives to improve the silage making process with tropical forages. In: Silage Making in the Tropics with Particular Emphasis on Smallholders. Proceedings of the FAO Electronic Conference on Tropical Silage, Roma. p 196.
- MURGUEITIO, E. 2004. Reconversión social y ambiental de la ganadería bovina en Colombia. Fundación CIPAV. Documento electrónico. Disponible en: www.agronet.gov.co/.

NADEAU, E. M. G., BUXTON, D. R., LINDGREN, E., Y LINGVALL, P. 1996. Kinetics of cell-wall digestion of orchardgrass and alfalfa silages treated with cellulase and formic acid. *J. Dairy Sci.* 79: 2207-2216.

NARANJO J F, CUARTAS C A Y CORREA H J. 2005. Comparación de cuatro modelos matemáticos para la caracterización de la cinética de degradación ruminal de algunos recursos forrajeros. *Livestock Research for Rural Development*. 17, Article #98. Retrieved November 17, 2009, from <http://www.lrrd.org/lrrd17/9/nara17098.htm>.

NRC, 2001. Nutrient requirement of Dairy cattle. National Academic Press. Seven revised edition. 381 p. Washington, D.C.

OCAMPO, A. y LEAN, I. J. 2004 Cambio en el patrón de energía para producir carne. Las dietas altas en grasas basadas en aceite de palma, una oportunidad para países tropicales. *Revista Palmas*. Vol. 25 Numero 2 Memorias XXXIII Congreso internacional de cultivadores de aceite de palma.

O'CONNOR, J.D., SNIFFEN, C., FOX, D. Y CHAUUPA, W. S. 1993. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets with predicting amino acid adequacy. *Journal Animal Science* 71: 1298-1311.

OSHIMA M y MCDONALD P. 1978 A review of the changes in nitrogenous compounds of herbage during ensilage. *Journal of. Science of Food and Agriculture* 29: 497-505.

OLUREMI, O.I.A., NGI, J. Y ANDREW, I A 2007. Phytonutrients in citrus fruit peel meal and nutritional implication for livestock production. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 19, Article #89. Retrieved February 13, 2008, from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd19/7/olur19089.htm>

ORSKOV E.R. and McDONALD I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurement weighted according to rate of passage. *Journal of agricultural Science, Cambridge*, 92: 499 – 503.

PAZZANSE, D., FOX, D., BALSALORE, M., CORSI M. Y TRAXLER. 2002. Utilização da metodologia de análises de alimentos do CNCPS e do sistema de produção de gás in vitro na estimativa do valor nutricional do capim elefante. *Revista da Sociedade Brasileira do Zootecnia* 13 (1):1-9.

PELL, A.N., SCHOFIELD, P. y STONE, W.C. 1993. Rates of digestion measured in vitro with computers. *Cornell Nutr. Conf. for Feed Manufacturers*, 74-81.

PITT, R. E., VAN KESSEL, J. S., FOX, D. G., PELL, A. N., BARRY, M. C., VAN SOEST, P. J. 1996. Prediction of ruminal volatile fatty acids and pH within the net carbohydrate and protein system. *J. Anim Sci.* 74: 226-244.

RESTREPO, JUAN E y SUAREZ MARTA C. 2005. Principales factores que afectan la actividad celulolítica bacteriana en rumiantes. En *Bioquímica, Nutrición y alimentación de la vaca*. Pabon Marta y Ossa Jorge Editores. Biogénesis Fondo Editorial. Medellín. Colombia 330 p.

RIBEIRO, C.G.M., L.C. GONÇALVES, J.A.S RODRIGUES, N.M. RODRIGUEZ, I. BORGES, A.L.C.C.BORGES, É.O.S. SALIBA2, G.H.F. CASTRO1, G.O. RIBEIRO

JUNIOR, 2007. Padrão de fermentação da silagem de cinco genótipos de sorgo, Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.59, n.6, p.1531-1537.

RIBEIRO PEREIRA L G, CABRAL BARREIROS D , SILVA OLIVEIRA L, LIMA FERREIRA A, MARTINS MAURÍCIO R, GOMES AZEVEDO J A, PEREIRA FIGUEIREDO M, FERNANDES SOUSA L E GOMES DA CRUZ P, 2008. Composição química e cinética de fermentação ruminal de subprodutos de frutas no sul da Bahia - Brasil. *Livestock Research for Rural Development. Volume 20, Article #1*. Retrieved October 23, 2009, from <http://www.lrrd.org/lrrd20/1/ribe20001.htm>.

RIBEIRO PEREIRA L G. 2009. Información personal, via internet. luiz.gustavo@cpatsa.embrapa.br. Comunicación electrónica.

ROJAS, C, PIERO y CASTILLO O MIGUEL. 2005. Determinación de las propiedades físicas en zumos y néctares empleando un programa de visual Basic. Tesis de grado Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Universidad nacional del Santa. Nuevo Chimbote Enero 2005. Disponible en Internet: <http://www.scribd.com/doc/3948999/TESIS>. Fecha de consulta: octubre 17 de 2009.

RUSSELL, J. B., J. D. O'CONNOR, D. G. FOX, P. J. VAN SOEST, y C. J. SNIFFEN. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *J. Anim Sci.* 70: 3551-3561.

SANCHEZ MATTA LEONARDO. 2005. Estrategias modernas para la conservación de forrajes en sistemas de producción bovina tropical. *Revista Corpoica*. Vol. 6 No2: 69-80.

SCHINGOETHE, D. J., G. A. STEGEMAN, y R. J. TREACHER. 1999. Response of lactating dairy cows to a cellulase and xylanase enzyme mixture applied to forages at the time of feeding. *J. Dairy Sci.* 82: 996-1003.

SHEPERD, A. C. y KUNG, L. 1996. Effects of an enzyme additive on composition of corn silage ensiled at various stages of maturity. *Journal of Dairy Science* 79: 1767-1773.

SILVEIRA P ENRIQUE A. y FRANCO F REINALDO. 2006. Conservación de forrajes, segunda parte. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*. Vol 7 número 11 Disponible en Internet: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111106.html>.

SLOTTNER, D. y BERTILSSON, J. 2006. Effect of ensiling technology on protein degradation during ensilage. *Animal Feed Science and Technology*. 127: 101-111.

SNIFFEN, C. J., O'CONNOR, J.D., VAN SOEST, P.J., FOX, D.G., y RUSSELL, J. B. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets, II: carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science* 70: 3562-3577.

STEFANIE, J.W.H., OUDE ELFERINK, F.D., GOTTSCHAL, J.C. y SPOELSTRA S.F. 2001. Silage fermentation processes and their manipulation. In: *Silage Making in the Tropics with Particular Emphasis on Smallholders*. Proceedings of the FAO Electronic Conference on Tropical Silage, Roma. p 196.

TRAXLER M.J., D.G. FOX, P.J. VAN SOEST, A.N. PELL, C.E. LASCANO, DPD LANNA, J.E. MOORE, R.P. LANA, M. VELEZ, A. FLORES. 1998. Predicting forage indigestible NDF from lignin concentration.

TITTERTON, M. y BAREEBA, F.B. 2001. Grass and legume silages in the tropics. Silage Making in the Tropics with Particular Emphasis on Smallholders. Proceedings of the FAO Electronic Conference on Tropical Silage, Roma, 43 – 72.

TYLUTKI T. P. ; FOX D. G. ; DURBAL V. M. ; TEDESCHI L. O. ; RUSSELL J. B. ; VAN AMBURGH M. E. ; OVERTON T. R. ; CHASE L. E. ; PELL A. N. 2008. Cornell Net Carbohydrate and Protein System : A model for precision feeding of dairy cattle. Journal of Animal Science. 143: 174-202.

URGERFELD. E.M. Y KOHN R.A. 2008. The role of thermodynamic in the control of ruminant fermentation. En: SEJRSEN, THUELPHLUND y NILSENS M.O. Editores. Ruminant physiology, digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress. Cabi Publishing.

VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J.B. Y LEWIS, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74: 3583-3597.

VAN SOEST, P. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University press. Ithaca and London 476 p.

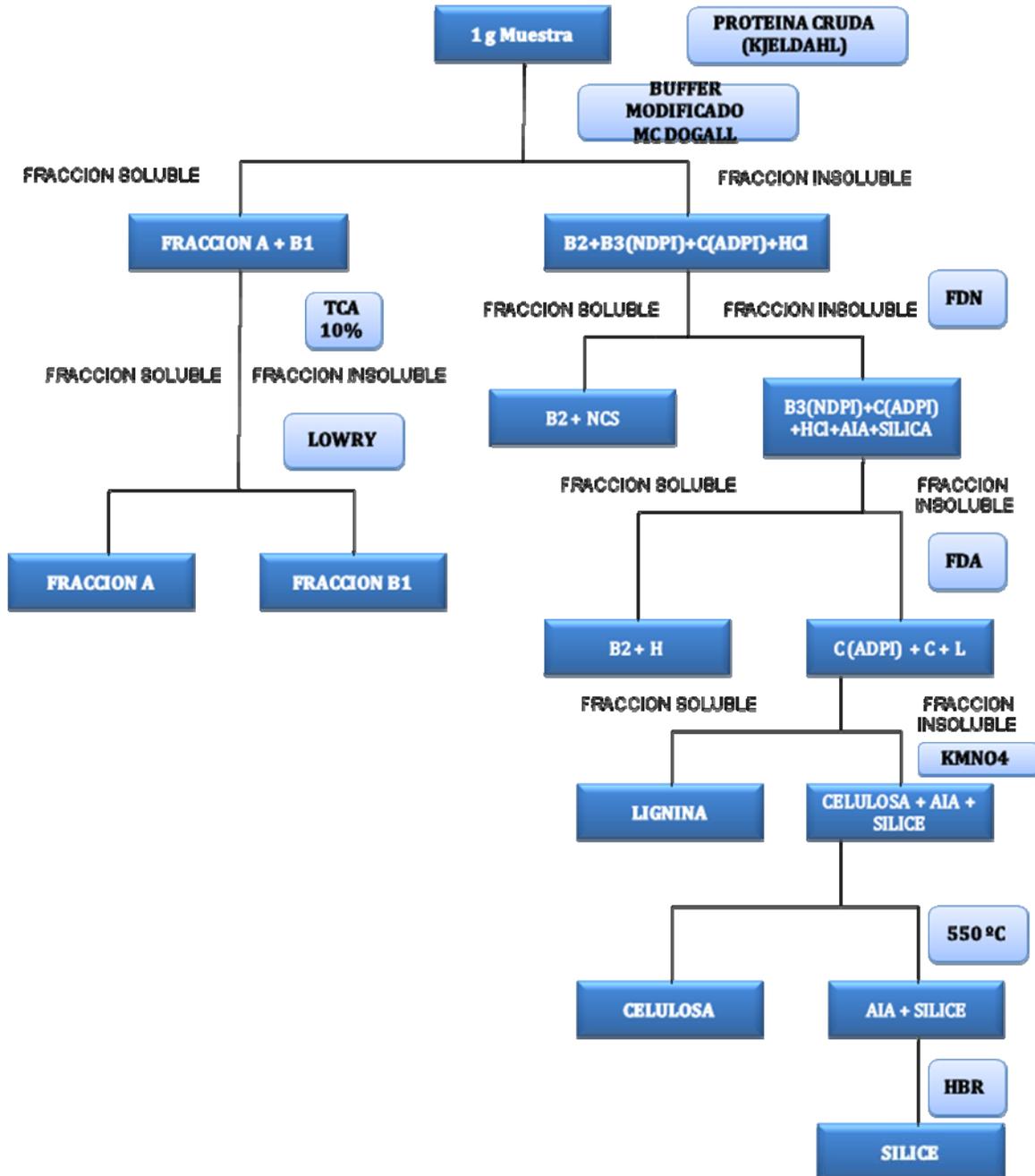
WINTERS, A. L., COCKBURN, J. E., DHANOA, M.S., Y M. R.J. 2000. Effects of lactic acid bacteria in inoculants on changes in amino acid composition during ensilage of sterile and nonsterile ryegrass. Journal of Applied Microbiology 89: 442- 451.

WOOLFORD, M. K. 1998. Bacterial developments: Their implications for silage production and aerobic stability. In: Biotechnology in the feed industry. Proceedings of Alltech's 14th Annual Symposium: passport to the year 2000.

YANG, W. Z., BEAUCHEMIN, K. A y RODE L.M. 1999. Effects of an enzyme feed additive on extent of digestion and milk production of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 82: 391-403

ANEXOS

Anexo 1. Descripción general de la metodología utilizada para valorar la calidad nutricional de los subproductos, con énfasis en el sistema CNCPS



Flujo de proceso para determinar fracciones de carbohidratos y proteínas

Adaptado de Arreaza (2000)

A. Determinación proteína Cruda

Nitrógeno total por macro o micro Kjeldahl. AOAC, 1995.

B. Determinación de proteína soluble en buffer (B1)

Pese 2,5 g de muestra y colóquela en un dedal previamente pesado y marcado.

Reactivos (preparación solución buffer)

- Fosfato monobásico de sodio (NaH_2PO_4), 12,20gr.
- Tetraborato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), 9,4gr.
- Terbutanol, 100 ml.
- Para una solución final de 1000 ml.

Determinación

- Ubique los dedales dentro de cada beaker con 50 ml de solución buffer.
- Active el agitador mecánico, 4 rpm durante 150 minutos.
- Al finalizar el proceso, lave cada dedal con 50 ml de agua destilada haciendo presión sobre el mismo en otro beaker, previamente marcado.
- A este residuo, se le hace proteína (kjeldahl), destilación y titulación.
- El valor obtenido es la fracción B1 de la proteína.

C. Determinación de las fracciones soluble e insoluble

Luego de la solubilización de la muestra en solución buffer, se obtienen los valores de la fracción soluble e insoluble de la muestra.

- Retire el dedal luego de lavarlo con agua destilada.
- Ponga el dedal a secar en estufa a 62 °C durante 24 horas.
- Retire el dedal de la estufa y póngalo en un desecador.
- Pese y realice los cálculos.

D. Determinación de proteína a NNP

De la solución final que se obtuvo de buffer 100 ml, se pasaron 50 ml a otro beaker marcado como TCA.

Reactivos

- Azida de sodio al 10%
- TCA al 10%

- Estas soluciones se prepararon por separado.

Procedimiento

- En el beaker, marcado como TCA, agregar 50 ml de la solubilización.
- Agregar 10 ml de la solución TCA y 1 ml de la solución azida de sodio.
- Agitar hasta obtener una solución homogénea (con agitadores para cada muestra).
- Marcar los tubos de ensayo.
- En cada tubo de ensayo marcado respectivamente, agregar 10 ml de cada beaker.
- Poner en la centrifuga durante 20 minutos.
- Tomar 10 ml de cada tubo sin dejar que el residuo precipitado se mezcle, y llevar a un tubo de digestión previamente marcado.
- Realizar el procedimiento de Kjeldahl para NNP.

E. Determinación de fracción proteica b3 o nitrógeno insoluble en solución fibra detergente neutro (NDIN)

El NDIN o NIFDN es el nitrógeno asociado con la fibra detergente neutro o pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina). Es normalmente proteína unida a la pared celular, la cual incluye también el nitrógeno indigestible encontrado en el residuo ácido del detergente. Se continúa en proceso con los dedales en los cuales se pesó la muestra original después de realizar la solubilización en el buffer y se procesa como la determinación de FDN. Este cuantifica los componentes de la pared celular y divide la materia seca, al punto que separa los constituyentes nutricionales solubles y accesibles de los que no son totalmente aprovechables.

Procedimiento

- Obtenga el peso de la muestra procedente de la solubilización en Buffer (sin retirarla del dedal).
- Ubique los dedales en beaker de berzelius.
- Adicione 100 ml de detergente neutro por cada uno de los dedales.
- Lleve a reflujo y deje una hora en ebullición a temperatura baja.
- Eleve la temperatura para que la solución hierva a un nivel constante.
- Lave la muestra con agua caliente aproximadamente 80°C.
- Lave la muestra con alcohol y seque a 65°C por 48 horas.
- Enfrié en el desecador y pese.
- De cada dedal saque 0,2 gr para proteína.

- Realice el procedimiento de Kjeldahl para B3.

F. Determinación de fracción proteica c o nitrógeno insoluble en solución fibra detergente ácido (ADIN)

El ADIN o fracción C es el nitrógeno que no se puede extraer completamente de la pared celular de las plantas. Es una parte central del nitrógeno residual, resistente indigestible y asociado con la lignina, aún en forrajes frescos que no contienen taninos. Si estos están presentes se incrementa la posibilidad de encontrar más proteína insoluble asociada con la pared celular.

Procedimiento

- Obtenga el peso de la muestra más el dedal procedente de la determinación de FDN.
- Deposítela en un beaker de berzelius.
- Adicione 100 ml de detergente ácido por cada uno de los dedales.
- Lleve a reflujo deje una hora en ebullición a temperatura baja.
- Eleve la temperatura para que la solución hierva a un nivel constante.
- Lave la muestra con agua caliente aproximadamente 80°C.
- Lave la muestra con alcohol y seque a 65°C por 48 horas.
- Enfrié en el desecador y pese.
- De cada dedal saque 0,2 para proteína.
- Realice el procedimiento de Kjeldahl para C.

G. Determinación de Lignina

La determinación de la lignina por medio del permanganato, permite la determinación de la celulosa y cenizas insolubles. La determinación de cenizas insolubles es una manera de estimar el contenido de sílice que en muchos forrajes es factor determinante en la reducción de la digestión.

Los materiales que interfieren con la determinación, se separan con la preparación de la FDA que esta compuesta principalmente por lignina, celulosa, minerales insolubles. La lignina se oxida con una solución de ácido acético amortiguada con permanganato de potasio conteniendo hierro trivalente y plata monovalente como catalíticos.

Los óxidos de manganeso y hierro que se depositan, se disuelven con una solución alcohólica de ácido oxálico y clorhídrico, permaneciendo la celulosa y los minerales insolubles. El contenido de lignina se determina con base a la pérdida de peso de la muestra, ocasionado por los tratamientos que ha sido sometida; mientras que la celulosa se termina en base a la pérdida de peso de la muestra al ser incinerada. El residuo de cenizas consiste principalmente de sílice y gran parte del material no silicato residual que puede eliminarse por medio de lavado con ácido hidrobromico concentrado.

Reactivos

- Permanganato de potasio saturado: Disolver 50 g de KMnO_4 grado reactivo por litro de agua destilada, mantener la solución protegida de la luz solar directa.
- Solución buffer de lignina: Para preparar un litro de solución, disolver 6 g de nitrato ferrico monohidratado ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$) y 0.15 g de nitrato de plata en 100 ml de agua destilada. Combinar esta mezcla con 500 ml de ácido acético glacial y 5 g de acetato de potasio. Agregar 400 ml de alcohol butílico terciario y mezclar la solución.
- Solución de permanganato combinado: Antes de ser usada la solución, mezclar el permanganato de potasio saturado con la solución buffer de lignina en la relación de 2:1 por volumen. La porción no utilizada de esta mezcla puede mantenerse por una semana en refrigeración en ausencia de la luz. Esta solución puede utilizarse si mantiene el color morado y esta libre de precipitado.
- Solución desmineralizadora: Por cada litro de solución, disolver 50 g de ácido oxálico dihidratado en 700 ml de alcohol etílico de 95%, agregar 50 ml de ácido clorhídrico concentrado (aproximadamente 12 N) y 250 ml de agua destilada y luego mezclar.
- Alcohol etílico del 80%: Para un litro mezclar 155 ml de agua destilada y 845 ml en alcohol etílico del 95%.

Procedimiento

- Las muestras a analizar se tomaron como residuo de FDA.
- Colocar los crisoles que contienen el residuo de FDA en una bandeja de poca profundidad que tenga aproximadamente una capa de 1 cm de espesor de agua fría. La fibra de los crisoles no se debe mojar.
- Agregar a los crisoles aproximadamente 25 ml de la solución combinada de permanganato de potasio sin llenarlos demasiado. Ajustar el nivel de agua en la bandeja a manera de reducir la corriente de paso de la solución a través de los crisoles.
- Colocar un agitador de vidrio en cada crisol con el objeto de revolver el contenido, deshacer los grumos y bañar todas las partículas que se adhieren a las paredes internas del crisol con la solución de permanganato.
- Dejar los crisoles por 90 minutos aproximadamente a temperatura de 20 a 25 grados centígrados si fuera necesario, una cantidad adicional de la solución combinada de permanganato. Hay que recordar que el color morado lo debe conservar constantemente.
- Trasladar los crisoles a la bomba de vacío y filtrar toda la porción requerida remanente.
- No lave la muestra.
- Colocar seguidamente los crisoles en bandejas, llenarlos hasta la mitad con la solución mineralizadora.

- Transcurridos 5 minutos, filtrar la solución líquida remanente y volver a llenar hasta la mitad con la misma solución.
- Se debe tomar la precaución de evitar el derrame debido a la producción de espuma.
- Repetir la adición de la solución desmineralizadora por tercera vez si se nota que el filtrado del segundo tratamiento se encuentra de color café oscuro.
- Lavar las paredes internas de los crisoles con una corriente fina de la solución desmineralizadora contenida en una botella de lavado por compresión, hasta que el color de la fibra sea blanco. El tiempo total necesario en este paso es de 20 a 30 minutos.
- Llenar y lavar el contenido de los crisoles con alcohol etílico del 80%; filtrar y repetir este lavado por dos veces consecutivas.
- Secar los crisoles durante la noche a 105 grados centígrados de temperatura, dejar enfriar en un desecador y pesar.

El contenido de lignina se calcula en base a la pérdida en peso original de la fibra obtenida por el método ácido detergente.

H. Determinación de Celulosa

- Para obtener el contenido de celulosa incinere a 500 °C durante 3 horas el residuo de las muestras procedentes de la determinación de la lignina.
- Deje enfriar en el desecador y pese.

I. Determinación de Sílice

La determinación de cenizas insolubles es una manera de estimar el contenido de sílice.

- El contenido de sílice se obtiene mediante la percolación del residuo de ceniza en los crisoles, con ácido Bromhídrico del 48% hasta desaparición total del color.
- Lave la muestra con alcohol etílico o acetona, filtre e incinere a 500 °C por 3 horas.
- Enfríe en desecador y pese.

Anexo 2: Ajuste de las curvas de degradabilidad con el programa Fit curve NEWAY®, en los residuos evaluados

A. Tommy Cáscara

Rumen Degradability Calculation

Tommy

Sample name: cáscara

Date of 16/11/2009

calculation: 20:33

Fitted parameters	
a	64,1
b	30,5
c	0,051
Sum of square	1,96
No of observations	5
RSD	0,99

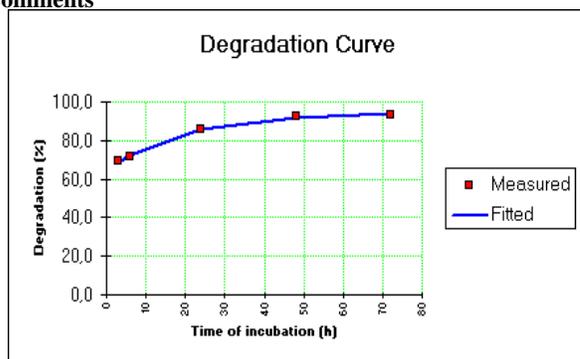
Degradability parameters	
Washing loss (%)	44,6
Degradability of water insoluble (%)	50,1
Potential degradability (%)	94,7
Rate constant (fraction/h)	0,051
Lag time (h)	0,0

Time	Measured	Fitted
3	69,1	68,5
6	71,5	72,2
24	85,7	85,8
48	92,9	92,1
72	93,3	93,9

Effective degradability

Outflow rate (fraction/h)	Effective Degradability(%)
0,02	86,1
0,05	79,6
0,08	76,1

Comments



B. Tommy semilla (Semilla)

Rumen Degradability Calculation

Tommy
Sample name: Semilla
Date of calculation: 16/11/2009 20:19

Fitted parameters	
a	24,2
b	29,9
c	0,036
Sum of square	0,29
No of observations	5
RSD	0,38

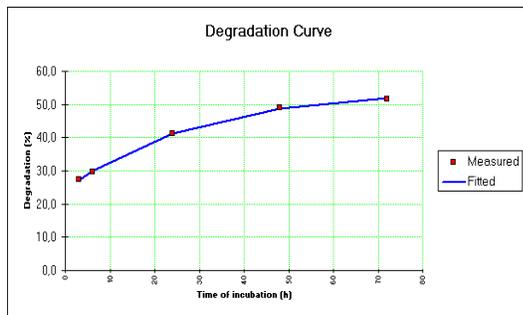
Degradability parameters	
Washing loss (%)	18,2
Degradability of water insoluble (%) Potential	35,9
degradability (%)	54,1
Rate constant (fraction/h)	0,036
Lag time (h)	0,0

Time	Measured	Fitted
3	27,4	27,2
6	29,8	30,0
24	41,2	41,4
48	49,1	48,7
72	51,6	51,8

Effective degradability

Outflow rate (fraction/h)	Effective Degradability(%)
0,02	43,4
0,05	36,6
0,08	33,4

Comments



a. Keitt cáscara

Rumen Degradability Calculation

Sample name: Keitt Cáscara
 Date of calculation: 16/11/2009 20:40

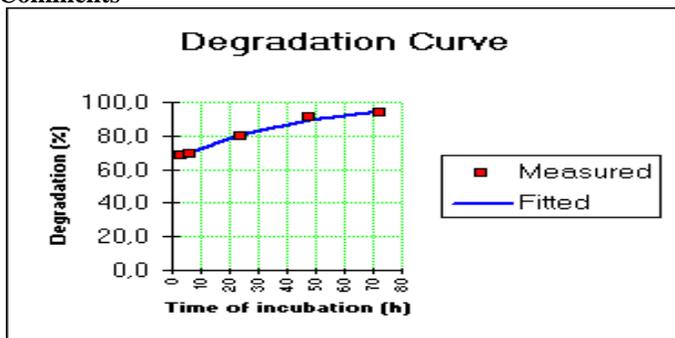
Fitted parameters	
a	64,7
b	34,9
c	0,026
Sum of square	4,90
No of observations	5
RSD	1,57

Degradability parameters	
Washing loss (%)	50,7
Degradability of water insoluble (%)	48,9
Potential degradability (%)	99,6
Rate constant (fraction/h)	0,026
Lag time (h)	0,0

Time	Measured	Fitted
3	68,0	67,3
6	69,3	69,8
24	80,1	81,1
48	91,4	89,8
72	93,6	94,4

Effective degradability	
Outflow rate (fraction/h)	Effective Degradability(%)
0,02	84,6
0,05	76,8
0,08	73,4

Comments



b. Keitt Semilla

Rumen Degradability
Calculation

Sample name: Keitt Semilla
Date of calculation: 16/11/2009 20:57

Fitted parameters	
a	30,8
b	9,9
c	0,073
Sum of square	0,85
No of observations	5
RSD	0,65

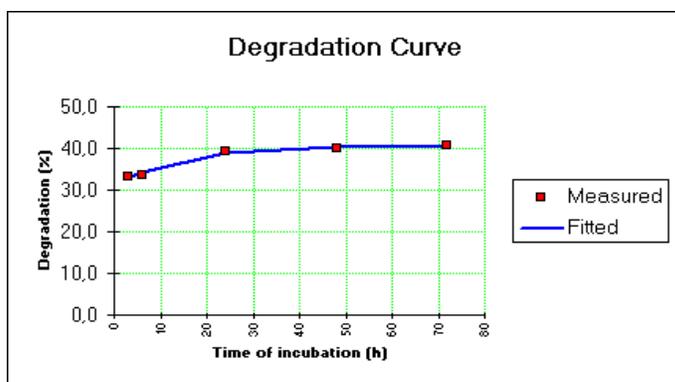
Degradability parameters	
Washing loss (%)	26,8
Degradability of water insoluble (%)	13,9
Potential degradability (%)	40,7
Rate constant (fraction/h)	0,073
Lag time (h)	0,0

Time	Measured	Fitted
3	33,1	32,7
6	33,7	34,3
24	39,4	39,0
48	40,0	40,4
72	40,8	40,6

Effective degradability

Outflow rate (fraction/h)	Effective Degradability(%)
0,02	38,6
0,05	36,7
0,08	35,5

Comments



Anexo 3. Análisis de varianza ensayos microsilos de laboratorio (Procedimiento GLM).

A. Resumen del análisis de varianza primer ensayo

Variable	Factor			Interacción		
	Tiempo	Melaza	Inóculo	Tiempo por melaza	Tiempo por inóculo	Melaza por inóculo
P						
Materia seca (%)	0.0121	0.1959	0.5130	0.4474	0.3270	0.3400
pH	<0.0001	0.0005	0.4782	0.0020	0.3405	0.1606
Nitrógeno amoniacal (mg/100 ml)	0.0675	0.2270	0.9756	0.6638	0.0445	0.6083
Nitrógeno Total (mg/100 ml)	0.1910	0.5028	0.7711	0.7524	0.6666	0.7775
Relación (N Amoniacal/ N Total)	0.0268	0.5367	0.9428	0.9716	0.1298	0.2907

B. Procedimiento.

```
proc prin data=mango;
proc glm data=mango;
class tiem mela ino;
model mse--rel=tiem mela ino tiem*mela tiem*ino mela*ino;
means tiem mela ino tiem*mela tiem*ino mela*ino;
run;
Sistema SAS 12:31 Friday, November 9, 2008 1
```

Procedimiento GLM

Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
tiempo	4	1 2 3 4
melaza	3	1 2 3
inonóculo	4	1 2 3 4

Número de observaciones 18

NOTA: All dependent variables are consistent with respect to the presence or absence of missing values. However only 17 observations can be used in this analysis.

C. Resultado

Procedimiento GLM

Variable dependiente: mse Materia seca

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	12	234.6225308	19.5518776	6.82	0.0390
Error	4	11.4642251	2.8660563		
Total correcto	16	246.0867559			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	mse Media
0.953414	7.989080	1.692943	21.19071

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tiem	3	199.8524529	66.6174843	23.24	0.0054
mela	2	6.5766837	3.2883419	1.15	0.4038
ino	2	3.3784127	1.6892064	0.59	0.5966
tiem*mela	3	18.3347195	6.1115732	2.13	0.2389
tiem*ino	1	3.1227600	3.1227600	1.09	0.3555
mela*ino	1	3.3575019	3.3575019	1.17	0.3400

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tiem	2	92.65104750	46.32552375	16.16	0.0121
mela	1	6.89109541	6.89109541	2.40	0.1959
ino	2	4.54207407	2.27103704	0.79	0.5130
tiem*mela	1	2.03014805	2.03014805	0.71	0.4474
tiem*ino	1	3.58534823	3.58534823	1.25	0.3260
mela*ino	1	3.35750186	3.35750186	1.17	0.3400

Procedimiento GLM

Variable dependiente: pH pH

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	12	1.87256199	0.15604683	114.29	0.0002

Error	4	0.00546154	0.00136538
Total correcto	16	1.87802353	
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE
	0.997092	0.844654	0.036951
			ph Media
			4.37470

Cuadrado de					
Fuente	DF	Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
tiem	3	1.00138782	0.33379594	244.47	<.0001
mela	2	0.54155015	0.27077507	198.31	<.0001
ino	2	0.16203921	0.08101960	59.34	0.0011
tiem*mela	3	0.16228636	0.05409545	39.62	0.0020
tiem*ino	1	0.00126000	0.00126000	0.92	0.3911
mela*ino	1	0.00403846	0.00403846	2.96	0.1606

Cuadrado de					
Fuente	DF	Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
tiem	2	0.67280513	0.33640256	246.38	<.0001
mela	1	0.14217179	0.14217179	104.13	0.0005
ino	2	0.00243608	0.00121804	0.89	0.4782
tiem*mela	1	0.00067846	0.00067846	0.50	0.0020
tiem*ino	1	0.00159560	0.00159560	1.17	0.3405
mela*ino	1	0.00403846	0.00403846	2.96	0.1606

Procedimiento GLM

Variable dependiente: namon N amoniacal

Cuadrado de					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	12	534.9476422	44.5789702	2.00	0.2641
Error	4	89.3142169	22.3285542		
Total correcto	16	624.2618591			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	namon Media	
	0.856928	25.34849	4.725310	18.64138	

Cuadrado de					
Fuente	DF	Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
tiem	3	167.0806259	55.6935420	2.49	0.1991
mela	2	36.0065057	18.0032528	0.81	0.5079
ino	2	88.5733002	44.2866501	1.98	0.2521

tiem*mela	3	53.9988721	17.9996240	0.81	0.5525
tiem*ino	1	182.4045775	182.4045775	8.17	0.0460
mela*ino	1	6.8837609	6.8837609	0.31	0.6083
Cuadrado de					
Fuente	DF	Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
tiem	2	254.5264627	127.2632313	5.70	0.0675
mela	1	45.4180009	45.4180009	2.03	0.2270
ino	2	1.1122263	0.5561131	0.02	0.9756
tiem*mela	1	4.9020000	4.9020000	0.22	0.6638
tiem*ino	1	186.5582563	186.5582563	8.36	0.0445
mela*ino	1	6.8837609	6.8837609	0.31	0.6083

Procedimiento GLM

Variable dependiente: Ntotal Ntotal

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	12	200850.2747	16737.5229	15.12	0.0091
Error	4	4429.1722	1107.2931		
Total correcto	16	205279.4469			

R-cuadrado Coef Var Raiz MSE ntotal Media
0.978424 17.72527 33.27601 187.7321

Fuente	DF	Tipo I SS	la media	F-Valor	Pr > F
tiem	3	183009.5237	61003.1746	55.09	0.0010
mela	2	5023.4985	2511.7492	2.27	0.2196
ino	2	4670.7465	2335.3732	2.11	0.2369
tiem*mela	3	7771.8096	2590.6032	2.34	0.2148
tiem*ino	1	263.8088	263.8088	0.24	0.6510
mela*ino	1	110.8877	110.8877	0.10	0.7675

Fuente	DF	Tipo III SS	la media	F-Valor	Pr > F
tiem	2	5704.104244	2852.052122	2.58	0.1910
mela	1	598.984103	598.984103	0.54	0.5028

ino	2	614.848088	307.424044	0.28	0.7711
tiem*mela	1	126.481864	126.481864	0.11	0.7524
tiem*ino	1	238.657339	238.657339	0.22	0.6666
mela*ino	1	110.887744	110.887744	0.10	0.7675

Procedimiento GLM

Variable dependiente: rel relación Nitrógeno amoniacal/nitrógeno total

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	12	455.7979789	37.9831649	3.41	0.1230
Error	4	44.4947430	11.1236857		
Total correcto	16	500.2927218			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	rel Media
0.911063	28.09734	3.335219	11.87023

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tiem	3	320.1253632	106.7084544	9.59	0.0268
mela	2	24.3053363	12.1526681	1.09	0.4183
ino	2	10.6869536	5.3434768	0.48	0.6502
tiem*mela	3	47.3545647	15.7848549	1.42	0.3608
tiem*ino	1	36.8653574	36.8653574	3.31	0.1428
mela*ino	1	16.4604036	16.4604036	1.48	0.2907

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
tiem	2	250.6296902	125.3148451	11.27	0.0227
mela	1	5.0671648	5.0671648	0.46	0.5367
ino	2	1.3293193	0.6646596	0.06	0.9428
tiem*mela	1	0.0158620	0.0158620	0.00	0.9717
tiem*ino	1	40.2713603	40.2713603	3.62	0.1298
mela*ino	1	16.4604036	16.4604036	1.48	0.2907

PROMEDIOS

Procedimiento GLM

Nivel de	-----mse-----		-----ph-----		-----namon-----		
tiem	N	Media	Dev std	Media	Dev std	Media	Dev std
1	6	25.6964010	1.44771079	4.18166667	0.14743360	15.5835167	4.85821181
2	1	15.5900000	.	3.92000000	.	16.0000000	.
3	3	18.6324076	2.90418046	4.26666667	0.58389497	17.0002000	5.17040898
4	7	19.2252127	1.77418723	4.65142857	0.11978155	22.3431200	6.90052975

Nivel de	-----ntotal-----			-----rel-----	
tiem	N	Media	Dev std	Media	Dev std
1	6	181.694797	17.8773954	8.5520116	2.30831904
2	1	592.000000	.	2.7027027	.
3	3	187.755330	85.5640651	10.3120986	5.94505968
4	7	135.144360	31.7004167	16.6918339	3.71569208

Nivel de	-----mse-----		-----ph-----		-----namon-----		
mela	N	Media	Dev std	Media	Dev std	Media	Dev std
1	7	21.2251816	3.84841716	4.24857143	0.30085592	17.7287800	5.43006213
2	3	18.4309934	3.18633304	4.14333333	0.35275109	16.9501367	2.27877182
3	7	22.3389809	4.17997853	4.60000000	0.27652607	20.2788100	8.20349302

Nivel de	-----ntotal-----			-----rel-----	
mela	N	Media	Dev std	Media	Dev std
1	7	145.906829	37.459843	13.0279734	5.06701083
2	3	327.756123	245.130621	7.9320033	5.81689608
3	7	169.547016	23.457161	12.4002974	6.06484806

Nivel de	-----mse-----		-----ph-----		-----namon-----		
ino	N	Media	Dev std	Media	Dev std	Media	Dev std
1	8	22.0859902	3.75266281	4.42250000	0.29802924	19.8689838	3.6330204
2	3	20.7161295	5.07345662	4.51000000	0.45133136	13.3168233	2.1391449
3	1	15.5900000	.	3.92000000	.	16.0000000	.
4	5	21.1631616	3.79373975	4.30800000	0.36968906	20.4002400	10.0394781

Nivel de	-----ntotal-----			-----rel-----	
ino	N	Media	Dev std	Media	Dev std
1	8	171.648440	58.9878112	12.6856683	4.19660272

2	3	142.825230	30.3670103	9.8587982	3.84698726
3	1	592.000000	.	2.7027027	.
4	5	159.556417	29.8201637	13.6058924	7.59688278

Procedimiento GLM

Nivel de tiem	Nivel de mela	N	-----mse-----		-----ph-----	
			Media	Dev std	Media	Dev std
1	1	3	24.8407692	1.60146074	4.05000000	0.04582576
1	3	3	26.5520328	0.69186165	4.31333333	0.01527525
2	2	1	15.5900000	.	3.92000000	.
3	1	1	16.2737684	.	3.90000000	.
3	2	1	21.8761593	.	3.96000000	.
3	3	1	17.7472952	.	4.94000000	.
4	1	3	19.2600651	2.05104503	4.56333333	0.03055050
4	2	1	17.8268207	.	4.55000000	.
4	3	3	19.6564910	1.99445777	4.77333333	0.05507571

Nivel de tiem	Nivel de mela	N	-----namon-----		-----ntotal-----	
			Media	Dev std	Media	Dev std
1	1	3	13.6001600	3.40004000	173.532789	15.1308441
1	3	3	17.5668733	5.97027403	189.856805	19.2407279
2	2	1	16.0000000	.	592.000000	.
3	1	1	20.4002400	.	118.765991	.
3	2	1	19.5502300	.	283.500000	.
3	3	1	11.0501300	.	161.000000	.
4	1	3	20.9669133	5.65964548	127.327816	44.1577222
4	2	1	15.3001800	.	107.768370	.
4	3	3	26.0669733	7.89793017	152.086234	12.9589447

Nivel de tiem	Nivel de mela	N	-----rel-----	
			Media	Dev std

1	1	3	7.8118891	1.62075338
1	3	3	9.2921342	3.00843086
2	2	1	2.7027027	.
3	1	1	17.1768365	.
3	2	1	6.8960247	.
3	3	1	6.8634348	.
4	1	3	16.8611033	1.71458198
4	2	1	14.1972825	.
4	3	3	17.3540816	5.88787585

Nivel de tiem	Nivel de ino	N	-----mse-----		-----ph-----	
			Media	Dev std	Media	Dev std
1	1	3	26.1418715	1.39835117	4.24666667	0.12741010
1	2	1	26.5742727	.	4.04000000	.
1	4	2	24.5892595	1.65862761	4.15500000	0.20506097
2	3	1	15.5900000	.	3.92000000	.
3	1	1	21.8761593	.	3.96000000	.
3	2	1	17.7472952	.	4.94000000	.
3	4	1	16.2737684	.	3.90000000	.

Anexo 4. Esquema de microsilos de PVC utilizados en el segundo ensayo

