

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
Escuela de Zootecnia

Utilización de las Mieles del Desmucilaginado Mecánico del Café (*Coffea arabica*)
en la Alimentación del Ganado Bovino

Melina Guzmán Mora


Tesis presentada para optar por el título de Ingeniera Agrónoma en el grado
académico de Licenciada en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2008

Tesis presentada para optar por el título de Ingeniera Agrónoma en el grado
académico de Licenciada en Zootecnia

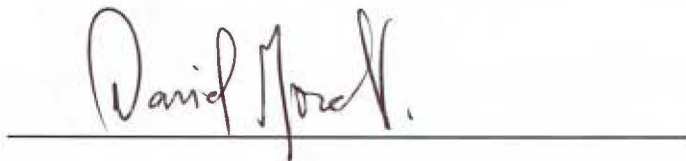
Tesis aprobada por el tribunal examinador:



Ing. Jorge Manuel Sánchez G. M. Sc. Director de Tesis



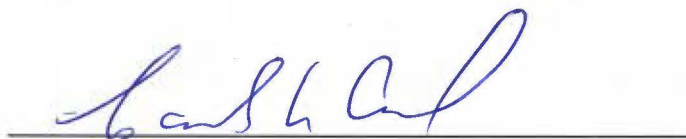
Ing. José Alberto Arce Cordero Lic. Miembro del Tribunal



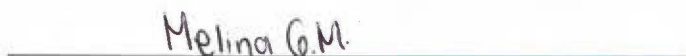
Ing. David Mora Valverde Lic. Miembro del Tribunal



Albino Rodríguez Salazar Lic. Miembro del Tribunal



Ing. Carlos Arroyo Oquendo. M. Sc. Director de Escuela



Melina Guzmán Mora Sustentante

DEDICATORIA

A mis padres Gilberto y Miriam quienes me brindaron la oportunidad de estudiar, su apoyo a lo largo de todo el tiempo de estudio y quienes durante la realización de esta investigación me animaron para seguir adelante y me tienen presente todos los días en sus oraciones. Sin duda es gracias a ustedes que hoy puedo dar un paso más allá en mi superación personal, los amo infinitamente.

A mi familia, en especial mis hermanos Paula y Gilberto y mi abuela Angela por su constante ayuda, los buenos momentos que compartimos juntos y por estar siempre a mi lado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios porque me dio la fuerza, salud, ánimo y la oportunidad de completar mis estudios

A mi familia, en especial mis padres, hermanos, mis tías Flor y Ana y a mi novio Josué por la ayuda que de una u otra forma me brindaron durante la realización de esta tesis.

A don Jorge Sánchez que con su paciencia y dedicación me ayudó durante la realización de esta investigación, gracias por sus consejos y colaboración.

Al personal del Beneficio Coopetarrazú, al gerente don Carlos Rivera y especialmente a José Alberto Calderón por su constante colaboración durante toda la realización de este proyecto y especialmente porque creyeron que era posible darle un uso a las mieles de café y con esto lograr reducir su impacto sobre el ambiente.

A la familia Umaña Ureña que nos abrió las puertas de su casa y nos permitió conocer personas muy valiosas. Muchas gracias por su gran colaboración durante la realización del experimento.

Al personal del CINA por su colaboración durante la realización de los análisis y en general durante el tiempo de realización de la tesis, especialmente a Alexander Jiménez, Katherine Madrigal, Gerardo Alvarado, Alexander Hernández, Pablo Álvarez y Nancy Ariza.

A mis amigos y compañeros del Laboratorio de Bromatología Adrián Martínez y Pamela Rodríguez por el tiempo agradable que compartimos, sus consejos y ayuda.

A don Henry Soto por su importante colaboración en el análisis estadístico de esta investigación.

Al Lic. Albino Rodríguez del CICAPE por su ayuda en la realización de análisis de muestras y por brindar su amplio conocimiento en café a la revisión de esta tesis.

A la Directora del CITA Dra. Carmela Velásquez y la Gerente Técnica del Laboratorio de Química B.Q. Marielos Torres por su colaboración en análisis, liofilizado de las muestras y aporte de conocimiento.

Al Lic. Eduardo Obando y el personal del Laboratorio de Servicios a la Industria de la Escuela de Química por su colaboración en análisis de muestras.

A la Directora del CICA Dra. Elizabeth Carazo y al BSc. Wilson Sandí por los análisis de calidad de aguas realizados.

A la Lic. Jessie Usaga del CITA por su aporte de conocimiento para la preservación de las aguas mieles de café.

A mis amigas Sofía Macaya, Cynthia Rojas, Adriana Mora, Anamaría Cascante, Talina Silva y Andrea Poveda, a mis amigos Federico Conejo y Fabián Salas y en general a mis compañeros de generación por los años compartidos y los buenos momentos que disfrutamos durante el camino recorrido hasta la culminación de nuestra carrera.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE.....	vi
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Introducción	5
2.2. El Fruto de Café	7
2.2.1. Componentes del Fruto de Café.....	10
2.2.1.1. Pulpa de Café.....	14
2.2.1.2. Mucílago de Café.....	18
2.2.1.3. Pergamino de Café.....	22
2.3. Sustancias Presentes en el Fruto del Café.....	24
2.3.1. Sustancias Nitrogenadas: Cafeína	24
2.3.2. Carbohidratos	25
2.3.2.1. Azúcares.....	25
2.3.2.2. Pectinas.....	26
2.3.3. Compuestos Fenólicos	27
2.3.3.1. Taninos.....	28
2.4. Industrialización del Café.....	29

2.4.1. Beneficiado del Café.....	30
2.4.1.1. Procesos para la Eliminación del Mucílago	33
2.4.2. Residuos del Beneficiado del Café	36
2.4.2.1. Parámetros de Calidad de las Aguas Residuales del Beneficiado	38
2.4.2.2. Residuos Sólidos	40
2.4.2.3. Residuos Líquidos	41
2.5. Respuesta Animal.....	47
2.5.1. Pulpa de Café en la Alimentación del Ganado Bovino	48
2.5.2. Pulpa de Café en la Alimentación de Cerdos	53
2.5.3. Mucílago de Café en Alimentación Animal	54
2.6. Conservación de las Mieles de Café	56
2.6.1. Bacterias.....	58
2.6.2. Hongos y Levaduras.....	60
2.6.3. Métodos de Conservación	62
2.6.3.1. Conservación Mediante el Empleo de Temperaturas Bajas	63
2.6.3.2. Conservación Mediante el Empleo de Sustancias Químicas.....	64
2.6.3.2.1. Ácido Cítrico	66
2.6.3.2.2. Benzoato de Sodio	66
III. MATERIALES y MÉTODOS	68
3.1. Descripción de la Zona de Estudio	68
3.1.1. Ubicación.....	68
3.1.2. Condiciones Climatológicas.....	70
3.1.3. Altura y Suelos	70
3.1.4. Generalidades de la Zona	70

3.2. Recolección de Muestras de Miel de Café	71
3.3. Análisis Experimental	72
3.3.1. Animales.....	72
3.3.2. Dietas	73
3.3.3. Suministro de Alimento.....	75
3.3.4. Diseño Experimental	76
3.4. Análisis Nutricional	77
3.4.1. Mieles de Desmucilaginado Mecánico de Café	77
3.4.2. Heno.....	81
3.5. Análisis Microbiológico	84
3.5.1. Diseño Experimental para las Pruebas Microbiológicas	85
IV. RESULTADOS y DISCUSIÓN.....	87
4.1. Calidad de las Aguas Residuales y su Posible Impacto sobre el Ambiente	87
4.2. Valor Nutricional de las Mieles de Desmucilaginado Mecánico del Café	90
4.2.1. Materia Seca	90
4.2.2. Proteína Cruda	94
4.2.3. Extracto Etéreo.....	95
4.2.4. Cenizas.....	96
4.2.5. Contenido Energético	96
4.2.6. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la Materia Seca	98
4.2.7. Factores Antinutricionales: Cafeína y Taninos	99
4.2.8. Azúcares.....	101
4.3. Conservación de las Mieles de Desmucilaginado Mecánico del Café.....	104
4.3.1. Análisis Microbiológico de Levaduras.....	105

4.3.2. Análisis Microbiológico de Bacterias.....	109
4.4. Respuesta del Ganado de Carne en Crecimiento	114
V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	125
5.1. Calidad de las Aguas Supernatantes Obtenidas Después de Haber Sometido las Mieles de Café a un Proceso de Centrifugado	125
5.2. Valor Nutricional de las Mieles de Café	126
5.2.1. Contenido de Materia Seca	126
5.2.2. Proteína Cruda, Extracto Etéreo y Cenizas	127
5.2.3. Contenido Energético de las Mieles de Café	127
5.2.4. Análisis de Digestibilidad <i>in vitro</i> de la Materia Seca.....	128
5.2.5. Cafeína, Taninos y Azúcares.....	128
5.3. Conservación.....	130
5.3.1. Levaduras.....	130
5.3.2. Bacterias.....	131
5.4. Respuesta del Ganado de Carne en Crecimiento al Consumo de las Mieles de Café.....	133
LITERATURA CITADA	136
APÉNDICE.....	151

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición física del café especie <i>arabica</i>	12
Cuadro 2. Composición química del grano de café en base seca.....	13
Cuadro 3. Constituyentes de la pared celular de la pulpa de café	15
Cuadro 4. Composición química de la pulpa de café deshidratada.....	16
Cuadro 5. Composición de la pulpa del café en materia seca, comparando la variedad <i>robusta</i> con la <i>arabica</i>	17
Cuadro 6. Composición química del mucílago de café.....	20
Cuadro 7. Composición de azúcares del mucílago de café.....	21
Cuadro 8. Composición química del pergamino de café	23
Cuadro 9. Residuos del beneficiado del café	37
Cuadro 10. Caracterización de las aguas residuales del café.....	42
Cuadro 11. Parámetros de residuos obtenidos del beneficiado húmedo para las aguas mieles del café en la Región de Los Santos.....	44
Cuadro 12. Raciones suministradas al ganado de carne alimentado con miel de café durante el experimento.	74
Cuadro 13. Raciones suministradas al ganado de carne alimentado con melaza durante el experimento.	75
Cuadro 14. Contenido nutricional del heno de Transvala utilizado durante el periodo experimental.....	82
Cuadro 15. Parámetros de calidad de las aguas extraídas (supernatante) del centrifugado de las mieles de café	88
Cuadro 16. Análisis nutricional de las mieles de café secadas en horno a 60 °C (% en base seca).....	91

Cuadro 17. Análisis nutricional de las mieles de café liofilizadas (% en base seca).	92
Cuadro 18. Contenido de azúcares presentes en las mieles del café (% de MS)	101
Cuadro 19. Rangos obtenidos de levaduras para las mieles de café centrifugadas (UFC).	107
Cuadro 20. Rangos obtenidos de levaduras para las mieles de café no centrifugadas (UFC).	108
Cuadro 21. Rangos obtenidos de bacterias para las mieles de café centrifugadas (UFC)	110
Cuadro 22. Rangos obtenidos de bacterias para las mieles de café no centrifugadas (UFC).	111
Cuadro 23. Peso promedio en Kg obtenido durante el periodo experimental y ganancia de peso promedio diaria del ganado de carne alimentado con melaza de caña de azúcar y miel de café	115
Cuadro 24. Composición nutricional de la melaza de caña de azúcar	123
CUADROS DEL APÉNDICE.....	151
Cuadro A1. Raciones suministradas al ganado de carne alimentado con miel de café a partir del día 45 del experimento.	151
Cuadro A2. Raciones suministradas al ganado de carne alimentado con melaza a partir del día 45 del experimento.	152
Cuadro A3. Cronograma del Plan de Acción del Convenio de Cooperación Interinstitucional ICAFE, SNE, MSP y AyA.....	153

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Corte longitudinal del fruto de café.....	9
Figura 2. Composición del fruto de café en peso seco.....	11
Figura 3. Corral utilizado durante el tiempo experimental en San Marcos de Tarrazú.	69
Figura 4. Mieles del café previo a secarse a 60°C.	77
Figura 5. Mieles de café secadas en horno a 60°C.....	78
Figura 6. Miel de café centrifugada	79
Figura 7. Miel de café liofilizada	80
Figura 8. Ganancia de peso promedio del ganado de carne alimentado con miel de café y melaza de caña de azúcar.....	117
Figura 9. Bovino consumiendo miel de café.....	119
Figura 10. Bovinos representativos de los tratamientos de melaza de caña y miel de café.....	122
FIGURAS DEL APÉNDICE.....	155
Figura A1. Bovino en manga para realizar el pesaje.....	155
Figura A2. Etapas de procesamiento del café en el beneficiado húmedo convencional	156
Figura A3. Etapas de procesamiento del café en el beneficiado húmedo ecológico..	157

LISTA DE ABREVIATURAS

AyA.....	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
AOAC.....	Association of Official Agricultural Chemists
°C.....	Grados Celsius
CICA.....	Centro de Investigación en Contaminación Ambiental
CICAFE.....	Centro de Investigaciones en Café
CINA.....	Centro de Investigación en Nutrición Animal
CITA.....	Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos
COMEX.....	Ministerio de Comercio Exterior
DIVMS.....	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días
DQO.....	Demanda Química de Oxígeno
DQO/Kg.....	Demanda química de oxígeno por kilogramo
DQO/L.....	Demanda química de oxígeno por litro
DMDC.....	Dimetil dicarbonato
ED.....	Energía digestible
EE.....	Extracto etéreo
ELMU.....	Eliminadoras de mucílago
EM.....	Energía Metabolizable
FAO.....	Programa de las Naciones Unidas para la Alimentación
FDA.....	Fibra Detergente Ácida
FDN.....	Fibra Detergente Neutro
HPLC.....	Cromatografía líquida de alta eficacia
Kcal/Kg.....	Kilocaloría por kilogramo
Kg/anim/d.....	Kilogramos por animal por día
Kg DBO/m ³	Kilogramos de demanda bioquímica de oxígeno por metro cúbico

Kg DBO/qq	Kilogramos de demanda bioquímica de oxígeno por quintal de grano oro
Kg/d.....	Kilogramo por día
Kg SS/m ³	Kilogramos de sólidos sedimentables por metro cúbico
L/Kg.....	Litros por kilogramo
MAQA.....	Métodos de Análisis Químico Ambiental
mg/L.....	Miligramos por litro
MINAE.....	Ministerio de Ambiente y Energía
MJ/Kg.....	Megajulios por kilogramo
MS.....	Materia Seca
MSP.....	Ministerio de Salud Pública
NRC.....	National Research Council
OMS.....	Organización Mundial de La Salud
PC.....	Proteína Cruda
pH.....	Grado de acidez
SAS.....	Statistical Analysis System
SNE.....	Servicio Nacional de Electricidad
UFC.....	Unidades formadoras de colonias

RESUMEN

La caficultura ha constituido en Costa Rica una de las principales actividades agrícolas de importancia a nivel económico. El café de Costa Rica es conocido por su calidad y sabor a nivel mundial y se caracteriza porque aproximadamente menos del 10% del fruto es lo que se utiliza para la preparación del café tostado, el restante 90% lo constituyen subproductos del fruto del café. En la actualidad se hace uso adecuado de la pulpa de café principalmente como abono orgánico y del pergamino o cascarilla como fuente energética en los hornos y calderas de los beneficios; aunque existen otros usos para los mismos. El otro residuo de la industrialización del café lo constituye el mucílago o mesocarpio, el cual aún cuando se han realizado diversas investigaciones que proponen formas de aprovechamiento; entre ellas la extracción de pectinas; no en todos los beneficios se le ha dado un uso a este subproducto; principalmente por los elevados costos y falta de desarrollo y optimización de los métodos de procesamiento propuestos.

Esta investigación se realizó en el cantón de Tarrazú, el cual se ubica en las coordenadas geográficas 09° 36' 04" Latitud Norte y 84° 04' 00" Longitud Oeste y climatológicamente se caracteriza por tener una época lluviosa de siete meses (mayo a noviembre) y seca (diciembre a abril) bien definidas. La precipitación promedio por año es de 2400 mm y la temperatura promedio anual de 19 °C. La producción cafetalera en la zona de Los Santos está ubicada entre los 1200 y 1900 m sobre el nivel del mar y esta actividad es fundamental para el desarrollo socioeconómico de la región.

Se analizó el valor nutricional de las mieles de desmucilaginado mecánico del café a lo largo de la cosecha 2007-2008 en su contenido de MS, PC, EE, DIVMS, cenizas y energía bruta; utilizando estos resultados se estimó el contenido energético de EM, ENm y ENg mediante el programa computacional de Cornell (CNCPS versión 5.0.4.0). A la vez se analizó la calidad de las mieles de café extraídas mediante centrifugado para conocer su posible impacto ambiental mediante análisis de pH, sólidos totales, sólidos suspendidos totales y sedimentables. Una de las bondades de las mieles del café es su carencia de factores antinutricionales como la cafeína y taninos que reduce el riesgo de las mismas para el consumo animal.

El valor nutricional de las mieles de café presentó contenidos promedio de MS, PC, EE, DIVMS, cenizas y energía bruta, respectivamente de 6.0, 9.6, 0.85, 82.3, 4.5 % y 3769 Kcal/Kg para las muestras que siguieron un proceso de secado en horno a 60 °C. A la vez, se evaluó el valor nutricional de las mieles de café centrifugadas como una opción de concentrar el producto y extraer gran cantidad de agua (alrededor del 70%), estas muestras se liofilizaron y se realizaron análisis de MS, PC, EE, DIVMS, cenizas y energía bruta, para los cuales se obtuvo los siguientes resultados en base seca 8.3, 13.5, 1.92, 74.8, 4.2 % y 3965 Kcal/Kg, respectivamente. Los contenidos de EM, ENm y ENg estimados para las mieles de café fueron 3.08, 2.10 y 1.43 Mcal/Kg de MS, valores que son mayores a los de la

melaza de la caña de azúcar, lo anterior especialmente debido a su contenido de cenizas.

En este estudio se evaluó la utilización de las mieles del desmucilaginado mecánico del café (*Coffea arabica*) en la alimentación de ganado de carne. Se determinó el efecto de este subproducto del café sobre las ganancias de peso de los animales utilizándolo como suplemento en la dieta y comparándolo con el aporte de energía de la melaza de caña de azúcar a la ración del grupo control durante un total de 70 días. Se utilizaron 14 animales enteros encastados comprados en subasta ganadera con pesos promedio entre 319-323 Kg. Se usaron mieles de café recolectadas la noche anterior al día en que se les dio a los animales experimentales. Para ambos tratamientos, el experimental de miel de café y el control de melaza de caña, se encontró un efecto altamente significativo ($P < 0.0001$) para el peso inicial de los animales. Se determinó que el tratamiento de miel de café al final del experimento produjo pesos promedio finales de 345 Kg, un poco menores que los de la dieta control que fueron de 350 Kg y se encontró mediante el análisis estadístico que no existen diferencias significativas entre tratamientos, obteniéndose las mejores ganancias de peso cuando la dieta aportaba 8 Kg de miel de café (480 g de MS) por animal por día. Los animales requirieron un período de adaptación a las mieles de café de dos semanas y las mismas constituyen un subproducto muy palatable para los bovinos.

Se evaluó la posibilidad de conservar las mieles de café con el fin de reducir su alta capacidad fermentativa mediante la utilización del preservante químico benzoato de sodio, utilizado en la industria alimentaria para humanos en niveles máximos de inclusión de 0.1%, mediante análisis microbiológicos de crecimiento bacterial, de hongos y levaduras a diferentes niveles de dilución de la muestra e inclusión del benzoato de sodio. Asimismo, se estudió el efecto del preservante sobre las mieles de café centrifugadas y no centrifugadas (tal cual provienen del beneficio), con el fin de probar la eficiencia de las primeras como otra posibilidad de preservación del subproducto del café. Se encontró para ambos tipos de muestras una mayor capacidad del benzoato de sodio para inhibir el crecimiento de levaduras, logrando preservar las aguas mieles por un período de un mes.

Se recomienda desarrollar alternativas tecnológicas para concentrar el producto y realizar experimentos en que el aporte de las mieles del café a la ración sea mayor.

I.INTRODUCCIÓN

La actividad cafetalera en Costa Rica ha constituido por muchos años una de las principales actividades agrícolas que contribuye como fuente importante de aporte económico y fuente de empleo. Según cifras preliminares del Banco Central de Costa Rica la caficultura representó en nuestro país en promedio el 3.1% del total de exportaciones durante el periodo 2001-2007 (Dirección General de Aduanas y Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica, COMEX).

De la actividad cafetalera sólo se aprovecha alrededor del 10% del fruto, el restante 90% lo constituyen subproductos que años atrás no se trataban o aprovechaban adecuadamente. En la actualidad, de los subproductos del café, la pulpa se utiliza en la mayoría de los beneficios para la producción de abono orgánico principalmente, el cual es muchas veces aprovechado en las plantaciones de café. Para la utilización del mucílago del café se han realizado gran cantidad de investigaciones; entre las más destacadas se encuentra la extracción de pectinas que se pueden utilizar en la industria alimentaria; sin embargo los costos de las tecnologías muchas veces han hecho que en los beneficios no sea factible aplicar dichas propuestas. El otro residuo proveniente del procesamiento del café es el pergamino o cascarilla, que es utilizado actualmente como fuente energética en los hornos y calderas de los beneficios.

El procesamiento del café en Costa Rica se realiza por el método de vía húmeda, en el cual se acostumbraba utilizar grandes cantidades de agua para las distintas etapas del proceso. La tendencia actual en nuestro país y en la mayoría de los países cafetaleros es practicar una producción sostenible y amigable con el ambiente. De esta forma, el sector cafetalero mediante el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE) se comprometió desde 1992 a realizar un programa de tratamiento de

los desechos sólidos y líquidos del beneficiado del café para prevenir efectos ambientales y de salud pública.

Ante esta perspectiva, se han venido implementando, desde la puesta en marcha del Convenio Interinstitucional para la Descontaminación de las Aguas Residuales del Beneficiado del Café hasta la fecha, una serie de cambios en el procesamiento del café que estén acordes con la producción sostenible. Entre estos se ha cambiado la utilización de abundante cantidad de agua, haciendo uso de la recirculación de las mismas; muchas de las etapas que antes necesitaban transporte con agua se han venido cambiando por el transporte mecánico y para eliminar el mucílago del café se estableció el uso de una mínima cantidad de agua, como meta para este sector.

Las mieles extraídas del desmucilaginado mecánico del café poseen una composición nutricional con cantidades energéticas importantes que han sido estudiadas como suplemento en la alimentación de cerdos, dando resultados de ganancia de peso, conversión alimenticia y calidad de canal similares a las obtenidas con otros subproductos como la melaza de caña de azúcar (Garavito y Puerta 1998).

Lo anterior recobra importancia ya que actualmente una de las fuentes tradicionales de alimentación animal como lo es la melaza de caña de azúcar está siendo utilizada para producir biocombustibles y esta situación ha generado una escasez, para utilizarla como suplemento energético en la dieta de los animales.

Ante esta situación es importante la investigación de nuevas alternativas de alimentación que ofrecer a los productores, y aún es de mayor interés cuando estas fuentes alimenticias provienen de subproductos agroindustriales a los cuales no se

les está considerando su potencial y se perciben como simples contaminantes ambientales.

De forma tal que el uso de las mieles del café constituye una alternativa de alimentación para el ganado bovino y una oportunidad de aprovechar los residuos del procesamiento del café, evitando que estos se conviertan en un contaminante ambiental.

El objetivo general de la presente investigación fue analizar el potencial de uso de las mieles provenientes del desmucilaginado mecánico del café (*Coffea arabica*), del Beneficio Coopetarrazú en la Zona de Los Santos, en la alimentación del ganado bovino.

Objetivos Específicos:

1. Analizar las aguas residuales del procesamiento del café para conocer su impacto sobre el medio ambiente.
2. Realizar mediante análisis de laboratorio la caracterización química y nutricional de las mieles producto del procesamiento del café.
 - 2.1. Secado de las mieles de café en horno a 60 °C
 - 2.1.1. Materia Seca (MS), Digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS)
 - 2.1.2. Proteína Cruda (PC), Extracto etéreo (EE)
 - 2.1.3. Contenido de ceniza
 - 2.1.4. Contenido energético por análisis de energía bruta
 - 2.2. Liofilizado de las mieles de café
 - 2.2.1. Materia Seca (MS), Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)

2.2.2. Proteína Cruda (PC), Extracto etéreo (EE)

2.2.3. Contenido de ceniza

2.2.4. Contenido energético por análisis de energía bruta

2.3. Factores antifisiológicos

2.3.1. Cafeína

2.3.2. Taninos

2.4. Azúcares reductores y no reductores

2.5. Análisis de calidad de aguas

3. Desarrollar una materia prima apta para la alimentación del ganado bovino a partir de las mieles del café.

4. Desarrollar un método para concentrar las mieles producto del beneficiado del café.

4.1. Analizar la factibilidad de concentrar mediante el centrifugado las mieles del café.

5. Evaluar diferentes técnicas de conservación de las mieles del café con el fin de ampliar la vida útil del producto.

5.1. Probar el potencial de uso del benzoato de sodio como preservante de las mieles del café.

5.2. Analizar el efecto del benzoato de sodio en las mieles producto del procesamiento del café sobre la actividad de microorganismos fúngicos y bacteriológicos.

6. Analizar la respuesta del ganado de carne a diferentes niveles de inclusión de las mieles del café en la dieta.

II.REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.Introducción

En Costa Rica la caficultura ha sido por muchos años una importante actividad económica pues representa en promedio el 3.1% del total de las exportaciones (cifras preliminares para el periodo 2001-2007 del Banco Central de Costa Rica COMEX). Sin embargo, de esta actividad sólo se aprovecha alrededor del 10% correspondiente al fruto, quedando una gran cantidad de residuos. La tendencia de dichos residuos en los años noventa era hacia un incremento, dado que la cosecha del café crecía a un ritmo del 8-10% anual (Moya *et al.* 1990); no obstante, esa tendencia ha variado y según datos del ICAFE (2007-2008)¹ a partir del año 2000 la producción de café ha disminuido en aproximadamente 1.3 millones de fanegas; lo anterior representa un 35.5% de reducción de la actividad cafetalera.

Según Vásquez (1997), Costa Rica se enfrenta hoy día al reto de seguir produciendo y beneficiando sus cafés lavados sin contaminar las fuentes de agua cercanas a los beneficios y a emplear menor cantidad de agua en las diferentes etapas del beneficiado húmedo.

Uno de los problemas más serios que existe en la actualidad y que se viene presentando desde años atrás es la baja disponibilidad en el mercado de materias primas para la elaboración de raciones para animales; además del aumento constante de su costo (Rodríguez y Camacho 1993). Los países de América Latina y en general en todo el mundo están experimentando un panorama incierto de crisis alimentaria asociado principalmente según datos de la FAO (2008), a la desaceleración de la economía de los Estados Unidos y el alza de los precios de

¹ La Actividad Cafetalera Costarricense, presentación suministrada por el Lic. Albino Rodríguez, CICAPE.

alimentos y petróleo. El alza en el precio de los alimentos a nivel internacional inició a mediados del 2002 y se aceleró en los últimos años y constituye un fenómeno que preocupa a líderes mundiales y a la sociedad en general por su efecto directo en los países importadores de alimentos. Lo anterior crea la necesidad de buscar nuevas alternativas para la alimentación animal, utilizando materias primas que se produzcan en el país a un costo más bajo y que muchas veces constituyen valiosos subproductos.

La importancia de estudios tendientes al aprovechamiento de los residuos del beneficiado del café radica según Alfaro y Rodríguez (1994), en generar vías alternativas de ingreso, provenientes de recursos que pese a su potencial económico, hoy son considerados como residuos o material de desecho y que a la vez son causantes de problemas ambientales.

Bressani (1978b) menciona que debido a la riqueza de carbohidratos presentes en el café y otros compuestos orgánicos, los subproductos del café pueden tener aplicaciones industriales de importancia, que en la actualidad no se han aprovechado lo suficiente debido al precio relativamente alto del fruto de café. No obstante, en la actualidad existe más conciencia en los países productores de café sobre los problemas de contaminación ambiental que pueden derivarse de los subproductos del procesamiento, así como de la necesidad de aprovechar el fruto al máximo.

En los últimos años se ha dado un enfoque diferente a la producción animal, donde el reto es producir carne y leche en forma sostenible, utilizando las fuentes disponibles, principalmente los residuos agroindustriales. Se busca así adecuar los sistemas de producción dentro de un marco social, económico y conservacionista del agua y los recursos naturales (Garavito y Puerta 1998).

El mucílago del café constituye un subproducto de interés para su uso en la alimentación animal, dado que en el sistema de beneficiado húmedo de café, éste se pierde en forma de aguas de lavado. Estas aguas si no son tratadas constituyen una importante fuente de contaminación de los cauces naturales a las que se lanzan los efluentes; por lo que su utilización en alimentación animal ayudaría a solucionar este problema y constituiría una materia prima de bajo costo en la inclusión de raciones para animales. A la vez, dado que la cosecha de café dura muchas veces hasta cinco meses, por el hecho de que no toda la fruta madura a la vez, hace más promisorio la posibilidad de utilizar las mieles del café para propósitos de alimentación animal.

A la vez, Garavito y Puerta (1998) mencionan que las características fisicoquímicas y composición química del mucílago, así como la ausencia de compuestos antifisiológicos como la cafeína, son factores que hacen potencialmente apropiado a este subproducto para uso en la alimentación animal, constituyendo su uso una solución parcial al problema de la contaminación.

2.2.El Fruto de Café

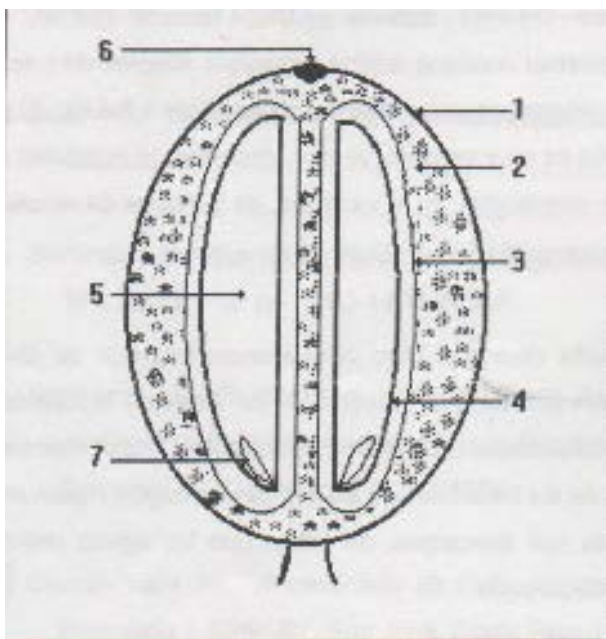
El café pertenece a la familia de las rubiáceas. En Costa Rica la especie única es la *Coffea arabica*; ésta es originaria de África y se presenta como un arbusto de hojas perennes (Bolaños *et al.* 1987).

Según Raghavan y Ramalakshmi (1998), los frutos de café de la especie *arabica* son más largos, ovalados, su tamaño es mayor y dan un café de mejor sabor al final del procesamiento en comparación con la especie *robusta*; cuyos frutos son redondos y más pequeños; sin embargo, éste último es preferido para la preparación

de café instantáneo por su característica particular de producir mayor cantidad de sólidos solubles.

Los frutos del café se cosechan en América Central desde finales de agosto hasta el mes de marzo, dependiendo de la altitud sobre el nivel del mar de la plantación de café. El café de tierra cálida madura más temprano que el de tierra fría. Los frutos se cosechan al llegar a la madurez, lo que se advierte por el color marrón intenso que adquiere el grano, aunque existen también variedades que presentan un color amarillo cuando están maduras (Bressani 1978c). No obstante, el período de cosecha del grano en Costa Rica, en el Valle Central, que constituye aproximadamente el 60% del café producido, está comprendido entre los meses de noviembre y febrero, coincidiendo con la época seca del año.

El fruto del café tiene el mismo aspecto que el de una cereza y por esta razón se le llama con ese nombre. La semilla del café presenta una superficie plana que se encuentra con otra parte igual dentro del fruto, en la cual cada mitad está cubierta por un tejido llamado película (Bressani 1978c). La Figura 1 muestra las fracciones anatómicas del grano de café.



- 1.Exocarpio o epicarpio (pulpa)
- 2.Mesocarpio o capa de tejido blando (mucílago)
- 3.Endocarpio o pergamino
- 4.Espermoderma o película plateada
- 5.Endosperma o almendra (dos en cada drupa)
- 6.Disco
- 7.Embrión

Figura 1. Corte longitudinal del fruto de café

Fuente: Bressani (1978c)

Zuluaga (1989), menciona que la pulpa está formada por el exocarpio (epidermis) y parte del mesocarpio. El color de la epidermis varía de verde (clorofila) a rojo (antocianinas) y depende de la variedad de café y del grado de maduración del fruto. Envuelto por la epidermis se encuentra el mesocarpio o capa de tejido blando (mucílago), el cual está constituido por una gruesa capa de tejido esponjoso de aproximadamente 5 mm de espesor, rico en azúcares y pectinas y que rodea los granos. Los granos están a su vez revestidos por una doble membrana: la primera llamada endocarpio, pergamino o cascarilla de café, de color amarillo pálido y de consistencia dura y quebradizo cuando se seca. La segunda membrana es mucho más fina que la anterior y se encuentra adherida al grano (albúmen), se le conoce como película plateada o tegumento seminal. En la base del albúmen y sobre su cara interna se encuentra el embrión.

2.2.1.Componentes del Fruto de Café

Raghavan y Ramalakshmi (1998), afirman que la composición química del fruto del café depende de la especie, prácticas agronómicas y de manejo, el procesamiento y las condiciones de almacenamiento. Kirk *et al.* (1996) y Wintgens (2004), afirman que el café verde sin procesar contiene agua, proteínas, cafeína, aceite, diversos carbohidratos, ácidos (principalmente solubles y no volátiles), trigonelina y minerales. Estos autores sugieren que el contenido de ácido clorogénico puede ser un factor indicador de la calidad del café.

Los componentes nitrogenados comprenden las proteínas, aminoácidos, la trigonelina que representa cerca del 1% del peso seco del café verde y los alcaloides, siendo el más abundante la cafeína (Organización Internacional del Café 2001). La cafeína es un alcaloide cuyo principal efecto fisiológico es ser estimulante del sistema nervioso central. A la vez, tiene efecto sobre el sistema cardiovascular, produce un ligero aumento en la presión arterial y aumenta la secreción gástrica (Raghavan y Ramalakshmi 1998).

El contenido de cenizas en el fruto del café es de alrededor del 4% del peso seco, del cual un 40% corresponde a potasio y se encuentran otros 30 elementos; entre ellos: calcio, rubidio, hierro, fósforo y magnesio; siendo éstos dos últimos los principales después del potasio.

Los ácidos orgánicos comprenden varios ésteres de ácidos químicos y representan del 7 al 10% de la materia seca del café verde (Organización Internacional del Café 2001). Según Raghavan y Ramalakshmi (1998), estos ácidos son importantes porque contribuyen con la capacidad astringente y acidifican el café para darle sabor; asimismo, son antioxidantes con efectos beneficiosos sobre los consumidores de café. A su vez, el grano de café contiene carbohidratos en su

mayoría sacarosa y polisacáridos (arabinogalactanos², galactomananos³ y celulosa). El café sufre pérdidas de sacarosa durante el tueste de los granos debido principalmente a reacciones de caramelización.

Cerca del 65% del peso total del grano procesado es material de desecho, distribuido en tres subproductos principalmente: pulpa, mucílago y pergamino; en cantidades de 40, 20 y 3.4% (Alterno 1996), la Figura 2 muestra la composición del grano de café en peso seco. El Cuadro 1 muestra la composición porcentual del grano.

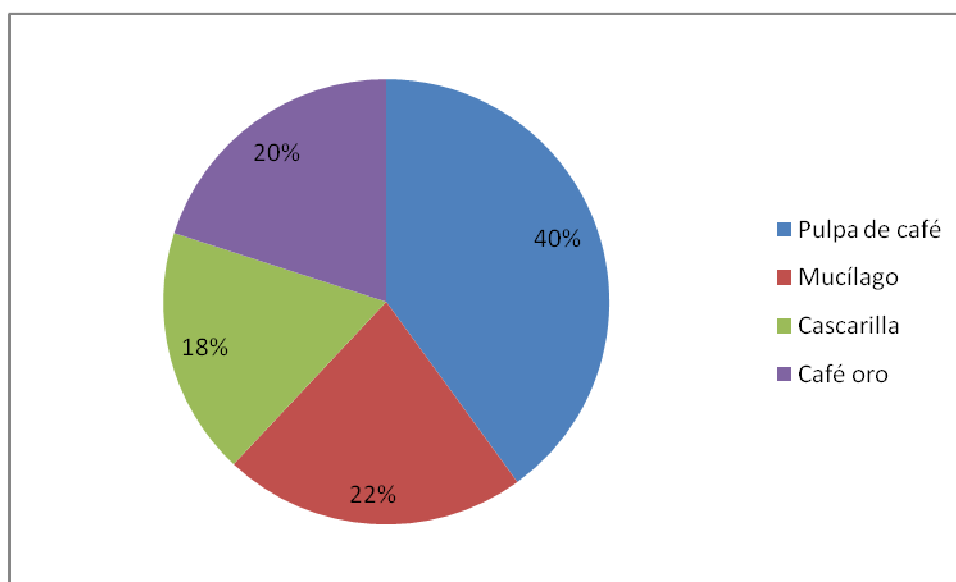


Figura 2. Composición del fruto de café en peso seco

Fuente: Wasser *et al.* (1992)

2 Carbohidratos complejos compuestos por galactasa y arabinosa, tienen función estimuladora del sistema inmune e influyen en el equilibrio gastrointestinal.

3 Carbohidratos formados por cadenas de manosas, con ramificaciones formadas por unidades de galactosa.

Cuadro 1. Composición física del café especie *arabica*

Componente	Peso fresco (%)	Peso seco (%)
Pulpa	39.53	40.0
Mucílago	20.12	22.0
Pergamino	40.35	18.0
Café oro (grano sin envolturas)		20.0

Fuente: Corella (1978) y Bressani (1978c)

Raghavan y Ramalakshmi (1998) indican que el café está compuesto principalmente por cafeína, cenizas, ácidos orgánicos que en su mayoría son clorogénicos, azúcares, lípidos, lignina y componentes nitrogenados; como se muestra en el Cuadro 2. De los cuales los componentes mayoritarios son carbohidratos, fibras de cadenas largas y aceites; las sustancias de menor contenido tienen un efecto significativo sobre la calidad de la infusión, el aroma y el sabor.

Cuadro 2. Composición química del grano de café en base seca

Componente	<i>arabica</i> (%)	<i>robusta</i> (%)
Humedad	10.0	10.0
Cafeína	0.6-1.5	2.2-2.7
Trigonelina ⁴	1.0-1.2	0.7-1.0
Cenizas	3.0-4.2	4.0-4.4
Ácidos Orgánicos		
Clorogénicos	6.2-7.9	7.4-11.2
Otros ácidos	1.5-2.0	1.5-2.0
Azúcares		
Sacarosa	6.0-8.0	5.0-7.0
Reductores	0.1-1.0	0.4-1.0
Total de polisacáridos	44.0-55.0	37.0-47.0
Lignina	2.0-3.0	2.0-3.0
Proteínas	11.0-13.0	11.0-13.0
Lípidos	14.0-16.0	9.0-13.0

Fuente: Raghavan y Ramalakshmi (1998) y Clifford y Wilson (1985)

⁴ Compuesto nitrogenado que se descompone al tostar el café en ácido nicotínico, piridina y compuestos volátiles.

2.2.1.1.Pulpa de Café

Según Elías (1978) y Madrigal (1987), la pulpa de café es el primer producto que se obtiene en el método usado para el procesamiento del grano de café y representa aproximadamente el 40% del peso del grano fresco y alrededor del 29% del peso del fruto entero en base seca.

A.Composición de la Pulpa de Café

Existen diversos valores de la composición química de la pulpa de café fresca, reportados en la literatura por investigadores (Bressani 1974, Rubio y Pineda 1974, Duicela *et al.* 2003, Elías 1978, Aguirre 1966, Jaffé y Ortiz 1952, Molina *et al.* 1974a, Wilboux 1956, citado por Elías 1978, Campbell *et al.* 1976, Bartley *et al.* 1978, Cabezas *et al.* 1978, Bressani y Elías 1976, Campabadal 1987, Jarquín 1987, De Cabrera *et al.* 1987, Bressani 1978b, Roussos *et al.* 1989, González *et al.* 1994), encontrándose rangos de variación para los constituyentes de la pulpa como se indican en los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 3. Constituyentes de la pared celular de la pulpa de café

Componente	Rango (%)
Celulosa	17.7 - 27.65
Lignina	17.5 - 18.21
Hemicelulosa	2.30 - 2.0
Fibra detergente neutro	36.8 - 37.4
Fibra detergente ácido	34.3 - 34.8

Fuente: Elías (1978), Bressani y Elías (1976), Campabadal (1987)

Cuadro 4. Composición química de la pulpa de café deshidratada⁵

Componente	Rango (%)	Promedio (%)
Materia Seca	76.3-93.4	87.4
Extracto Etéreo	1.4 - 4.6	2.5
Fibra Cruda	13.2 - 42.5	21.0
Proteína Cruda (N ₂ × 6.25)	9.0 - 13.0	11.2
Cenizas	5.0 - 9.66	8.3
Azúcares totales	43.0 - 66.1	43.0
Azúcares reductores	6.8 - 26.6	12.4
Azúcares no reductores	0.5 - 2.02	2.0
Cafeína	0.51 - 4.5	1.3
Taninos	1.10 - 8.56	1.8
Ácido clorogénico	0.18 - 3.16	2.6
Ácido cafeico	0.24 - 2.58	1.6
Ácido tánico	2.30 - 5.56	2.3

Fuente: Bressani 1974, Rubio y Pineda 1974, Duicela *et al.* 2003, Elías 1978, Aguirre 1966, Jaffé y Ortiz 1952, Molina *et al.* 1974a, Wilboux 1956, citado por Elías 1978, Campbell *et al.* 1976, Bartley *et al.* 1978, Cabezas *et al.* 1978, Bressani y Elías 1976, Campabadal 1987, Jarquín 1987, De Cabrera *et al.* 1987, Bressani 1978b, Roussos *et al.* 1989, González *et al.* 1994.

⁵ Se extrae la humedad secando al sol

Según Ramón *et al.* (1995), las variaciones observadas se establecen debido a la especie del café, la localidad, altitud, grado de maduración y las diferentes formas de cosechar el café. En el Cuadro 5 se observan los valores de los constituyentes reportados para la especie *arabica* y *robusta*. Por otro lado, Campabadal (1987) reporta valores de 2100 Kcal/Kg de Energía digestible (ED) y 1645 Kcal/Kg de Energía Metabolizable (EM) para la pulpa de café.

Cuadro 5. Composición de la pulpa del café en materia seca, comparando la variedad *robusta* con la *arabica*

Componente	Café <i>robusta</i> (%)	Café <i>arabica</i> (%)
Proteínas	9.20	11.30
Grasa total	2.00	1.70
Celulosa bruta	27.6	13.2
Cenizas	3.30	6.80
Extracto no nitrogenado	57.80	66.10
Taninos	4.50	-
Materias pécticas totales	6.50	-
Azúcares reductores	12.40	-
Cafeína	-	0.90
Azúcares no reductores	2.00	-
Fuente: Corella (1978)		

B.Usos de la Pulpa de Café

La pulpa de café es según Morales (1979) y Cléves (1976), el desecho que potencialmente causa más contaminación; sin embargo ha sido estudiado para su aprovechamiento en distintas áreas, entre estas su uso en años anteriores en la alimentación de ganado; en la preparación de compost para ser aplicado muchas veces en los cafetales, como gas combustible o para obtener alcohol etílico y productos derivados.

Bolaños *et al.* (1987), mencionan que la pulpa de café puede ser utilizada para la extracción de proteína y cafeína. Al respecto Rathinavelu y Graziosi (2005), indican que es posible extraer los compuestos polifenólicos de la pulpa y combinarlos para producir aditivos de los alimentos que sean de interés en la industria como alimentos saludables.

Según Elías (1978), el alto contenido de humedad de la pulpa fresca de café representa una de las mayores desventajas de su utilización; principalmente desde el punto de vista de transporte, manejo, procesamiento y por consiguiente se complica su uso en la alimentación animal.

2.2.1.2.Mucílago de Café

El mucílago está localizado entre la pulpa y la cáscara del grano de café y representa alrededor del 20% del peso seco del grano (Bressani *et al.* 1972). El mucílago constituye una capa de aproximadamente 0.5-2.0 mm de espesor que está fuertemente adherida a la cáscara del grano de café. Desde el punto de vista físico el mucílago es un sistema coloidal líquido, liofílico; por lo tanto un hidrogel. Químicamente el mucílago contiene agua, pectinas, azúcares y ácidos orgánicos (Elías 1978).

Según Cléves (1975), el mucílago de café carece de paredes celulares que le den una estructura semisólida y una forma definida; sin embargo la propiedad característica de las pectinas de formar geles en soluciones acuosas concentradas de azúcares y en la presencia de ácidos orgánicos, le permite al mucílago poseer las características de estructura mencionadas debido a fuerzas de atracción que lo hacen un hidrogel. Los hidrogeles son sistemas coloidales semi-rígidos capaces de poseer forma propia.

A.Composición del Mucílago de Café

Garavito y Puerta (1998) mencionan que el contenido de agua en el mucílago de café varía entre el 85 y 90%, la mayor parte de la materia seca está representada por carbohidratos; en particular compuestos pécticos y azúcares reductores y no reductores. En el mucílago están presentes minerales como potasio, calcio, magnesio y fósforo en mayor proporción y se encuentran trazas de hierro, zinc, manganeso y cobre. Dixon (1991), indica que las sustancias pécticas se refieren a una designación colectiva para un grupo de materiales vegetales coloidales formados por cadenas de ácido poligalacturónico, de cuatro tipos generales: protopectinas, pectinas, ácidos pécticos y pectínicos.

Según Hernández (1978), el mucílago contiene entre el 11 y 18% de pectinas totales en base seca; no obstante, Sudhakara (1975) y Elías (1978), reportan que el mucílago contiene entre 30- 39% de pectinas. En el Cuadro 6 se indica la composición química del mucílago de café. Hernández (1978) explica que en las pectinas la mayor proporción corresponde a pectatos de calcio, seguido de la fracción de pectinas solubles en agua y en menor proporción se encuentran las pectinas solubles en ácido.

Cuadro 6. Composición química del mucílago de café

Componente	Peso fresco (%)
Agua	84.2
Proteína	8.90
Azúcares	4.10
Ácido péctico	0.90
Ceniza	0.70

Fuente: Aguirre (1966)

Según Aguirre (1966), el mucílago de café no contiene taninos ni cafeína; sin embargo, contiene enzimas pectinolíticas que pueden hidrolizar los constituyentes pécticos del material y su actividad se relaciona con la fermentación que ocurre durante el procesamiento del café.

Se ha encontrado que el pH del mucílago varía de acuerdo con el grado de madurez; así como con el método usado para el procesamiento del café (Wilbaux 1956, citado por Elías 1978). En *C. arabica* el procesamiento manual de los granos de café maduro resulta en un pH del mucílago de cerca de 5.6-5.7; mientras que el proceso mecánico que utiliza agua resulta en un material con valores de pH de 5.0-5.2. Las variaciones en valores del pH deben tener según Elías (1978) una influencia significativa sobre la actividad de las enzimas en el proceso de fermentación, así como sobre sus componentes. El Cuadro 7 muestra la composición de azúcares del mucílago de café.

Cuadro 7. Composición de azúcares del mucílago de café

Componente	Rango Peso Seco (%)	Promedio Peso Seco (%)
Sustancias pécticas	14.0 - 47.0	33.0
Azúcares totales	25.9 - 45.8	45.8
Azúcares reductores	7.7 - 30.0	30.0
Azúcares no reductores	17.1 - 37.4	20.0
Cenizas	-	17.0

Fuente: Mora (1981), Elías (1978) y De Cabrera *et al.* (1987)

Dixon (1991), explica que existe variabilidad en el contenido de mucílago que se obtiene según la época de cosecha, lo anterior se atribuye principalmente al contenido de humedad; ya que al tratarse de un coloide hidrófilo, es muy susceptible de ganar o perder agua por hidratación de acuerdo con el régimen de lluvias que prevalezca durante el periodo de recolección del café. En tiempo seco la humedad fluctúa entre 76 y 80%; mientras que en épocas lluviosas alcanza el 90% y aún más.

B. Usos del Mucílago de Café

Bressani *et al.* (1972) mencionan que el mucílago del fruto del café es muy rico en sustancias pécticas; de las cuales es posible obtener pectina. Estas sustancias son posibles de recuperar si el despulpado y lavado se llevan a cabo en los beneficios utilizando pequeñas cantidades de agua y sin que ocurran procesos de fermentación. Sobre la posibilidad de recuperar las sustancias pécticas existen investigaciones (Menchú *et al.* 1974 y Orozco 1976), ambas señalan que es posible

extraer alrededor de 17 g de pectinas/ 100 g de mucílago; sin embargo el costo del proceso y principalmente del alcohol etílico usado durante la extracción es elevado.

Por otro lado, Garavito y Puerta (1998) mencionan que el mucílago de café se ha usado en la obtención de bebidas alcohólicas. A la vez, indican que las pectinas tienen usos en la industria de alimentos, productos farmacéuticos, pinturas y temple de acero.

Zuluaga (1989), menciona otras alternativas de uso para el mucílago de café como la obtención de biogas, combustible y fertilizantes orgánicos a partir de una fermentación anaerobia del material y la producción de proteína unicelular derivada de una fermentación aerobia del mucílago.

Otro uso atribuido al mucílago de café es la extracción de azúcares naturales procedentes principalmente del agua de lavado del café reciclada. Principalmente monosacáridos, glucosa, galactosa y arabinosa (Rathinavelu y Graziosi 2005).

2.2.1.3.Pergamino de Café

Bressani *et al.* (1972) indican que el pergamino o cascarilla constituye la parte anatómica que envuelve al grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa y representa alrededor del 12% del grano de café en base seca. La concentración proteínica de los tres componentes del grano de café es similar, mientras que el contenido de fibra cruda es significativamente mayor en el pergamino de café. Según Ferreira *et al.* (2001), el pergamino contiene una alta concentración de sílica que le brinda mayor protección a la cáscara.

A.Composición del Pergamino de Café

Alterno (1996), indica que el pergamino está formado principalmente por celulosa y se emplea junto con la leña como parte del combustible que alimenta los hornos que calientan el aire utilizado en los secadores rotatorios, ya que su poder calorífico es de 14.61 MJ/Kg y posee una alta combustibilidad. El Cuadro 8 muestra la composición química del pergamino:

Cuadro 8. Composición química del pergamino de café

Componentes	(%)
Materia seca	92.8
Fibra cruda	70.0
Proteína	2.4
Extracto etéreo	0.6
Extracto libre de nitrógeno	18.9
Fibra neutro detergente	88
Fibra ácido detergente	67
Lignina	18
Cenizas	5

Fuente: Bressani *et al.* (1972)

B.Usos del Pergamino de Café

Según Moya *et al.* (1990) y Aguirre (1966), el pergamino o cascarilla se emplea principalmente como fuente energética en los hornos y calderas de los beneficios, ya que se necesita mucha energía para la deshidratación final del grano de café. Por otro lado, la utilización de la cascarilla de café está limitada para uso en alimentación animal debido a la alta cantidad de lignina y sílice.

Dixon (1991) menciona que este subproducto tiene potencial de uso a nivel industrial en la producción de celulosa o plásticos y que la composición química del pergamino ha permitido que se utilice en Colombia como un componente de soporte empleado para el cultivo de hongos tropicales (Rodríguez *sf*).

2.3.Sustancias Presentes en el Fruto del Café

2.3.1.Sustancias Nitrogenadas: Cafeína

Los cafés del tipo *robusta* tienen aproximadamente el doble de cafeína que los de la especie *arabica*. La cafeína es similar a las sustancias presentes normalmente en los tejidos animales; es por esto que dicho compuesto puede afectar todos los sistemas corporales: nervioso, cardiovascular, respiratorio, entre otros. Sin embargo, la cafeína no se acumula en el cuerpo, por esto sus efectos son a “corto plazo” y transitorios (Indian Coffee 2000).

Cabezas *et al.* (1978), indican que la cafeína ejerce un efecto acelerador sobre el metabolismo basal, el cual se asocia con la hiperactividad de los animales que consumen alimentos que contienen esta sustancia. A la vez, mencionan el conocido efecto diurético de la cafeína, al que se le atribuye la disminución en retención de

nitrógeno. Lo anterior es asociado a incrementos en la excreción de orina, las cuales aumentan las pérdidas de nitrógeno.

2.3.2.Carbohidratos

2.3.2.1.Azúcares

Los granos verdes de café contienen según Calzolari y Coassini (1967) sacarosa, glucosa y fructosa y una serie de polisacáridos (arabinogalactosa, galactomananos y celulosa). No obstante, según Pimenta *et al.* (2000), dentro de los azúcares presentes en el café predominan los reductores y particularmente la sacarosa.

La madurez de los granos de café se caracteriza por varios factores, destacándose entre ellos el aumento en la cantidad de azúcares solubles y por consiguiente, una degradación del almidón (Amorim y Silva 1968).

Villela *et al.* (2002), mencionan que dentro de los azúcares solubles del café, la sacarosa sufre la mayor degradación durante el tueste del café; donde es rápidamente transformada en productos caramelizados (reacción de Maillard) responsables del color del café al finalizar el proceso. Inicialmente, la sacarosa sufre una deshidratación seguida de hidrólisis a azúcares reductores, estos azúcares a la vez debido a la elevación de la temperatura, son deshidratados, polimerizados y parcialmente degradados a compuestos orgánicos volátiles (Sivetz y Foote 1963). La sacarosa tiende a degradarse proporcionalmente de acuerdo al grado de tueste del grano, siendo que a temperaturas mayores del proceso aparecen pentosas como ribosa (Barbosa *et al.* 2002).

Por otro lado, los azúcares reductores, presentes en pequeñas cantidades sufren también un decrecimiento durante el proceso de tueste. De esta forma, es posible que la severidad del proceso cause la aparición de azúcares ausentes en la forma libre del grano verde, a través de la hidrólisis parcial de polisacáridos presentes en la materia original (Kroplien 1974).

2.3.2.2.Pectinas

Cléves (1975), define las pectinas como componentes con un alto porcentaje de sus grupos carboxílicos esterificados con el grupo metilo. La base de las pectinas son azúcares pentosas (cinco átomos de carbono por molécula), formando ácidos pécticos, pectatos, pectina y pectosa; ésta última corresponde a la celulosa.

Por otro lado, las sustancias pécticas hacen referencia a un grupo de materiales vegetales coloidales cuya estructura básica está integrada por cadenas de ácido D-galacturónico, unidas por enlaces glucosídicos. Se encuentran asociadas con hidratos de carbono, principalmente con hemicelulosas en las paredes de los vegetales y son las responsables de la firmeza de algunos productos. Son compuestos de alto peso molecular y composición compleja que se encuentran en la pared celular primaria (Dergal 1993).

La propiedad más importante asociada a las pectinas es su capacidad de formar hidrogeles en presencia de soluciones concentradas de azúcar y ácidos orgánicos.

2.3.3. Compuestos Fenólicos

Estos compuestos están presentes en los vegetales y comprenden según Ramírez (1987) y Ansong (2004), un grupo heterogéneo de sustancias (metabolitos secundarios), unas con estructuras químicas relativamente simples y otras más complejas (polímeros) como los taninos o la lignina.

La especie *Coffea arabica* se caracteriza por el alto contenido de los compuestos fenólicos y en particular, de los llamados ácidos clorogénicos; sin embargo, están presentes también el ácido caféico y el tánico (Bressani 1978a). Los ácidos clorogénicos constituyen cerca de 10% de la materia seca de los granos verdes del café o café oro que es aquel que está listo para su comercialización (Clifford y Staniforth 1977).

Pimenta *et al.* (2000) y Magalhaes (2002), mencionan que los compuestos polifenólicos presentes en el café contribuyen de forma significativa en el sabor y aroma del producto final.

Según Dina y Herrera (2005), la cantidad de ácidos clorogénicos varía con el grado de maduración, la especie y otros factores asociados a la calidad del café, tal como la altura y la presencia o ausencia de sombra. Estos ácidos son precursores del sabor y pigmentos del café tostado, lo cual proporciona una forma de evaluación química de la calidad del café.

Vélez *et al.* (1985), estudiaron la acción de los polifenoles del café y determinaron que el ácido tánico liga estas sustancias con las proteínas; a la vez, esta acción es directamente proporcional al peso molecular de los compuestos polifenólicos. Por otro lado, Roza *et al.* (1985), indican que la acción de los polifenoles se asocia con su capacidad de ligar el hierro de la dieta.

2.3.3.1.Taninos

Los taninos son compuestos fenólicos solubles en agua y de pesos moleculares que van desde 500 a 3000 y con la propiedad de precipitar proteínas. El tamaño de la molécula de los taninos se asocia con la capacidad de absorción del mismo en el tracto digestivo. Estas sustancias juegan un papel variado dentro de las plantas, que va desde su contribución a la formación de suberina, aceites esenciales, lignina y además brinda protección a través de sus propiedades fungicidas y bacteriostáticas (Marín 1985).

Los taninos se dividen, según Marín (1985) en hidrolizables y condensados. Los primeros son sustancias polifenólicas complejas que pueden ser degradadas a moléculas más pequeñas en condiciones hidrolíticas. Son débilmente polimerizados y solubles en agua. Los taninos hidrolizables pueden ser digeridos por el animal en el intestino delgado en sus componentes fenólicos y azúcar, los cuales son luego absorbidos.

Los taninos condensados son fuertemente polimerizados y poco solubles en agua. En contraste con los hidrolizables, al ser tratados por ácidos se origina una polimerización progresiva hasta dar taninos amorfos que son insolubles. Este tipo es el que se encuentra mayormente en el grano. Madrigal (1987), añade que estos taninos no se digieren en el tracto gastrointestinal y que es poco probable que puedan atravesar la pared intestinal; y de absorberse, causarían lesiones en el hígado y riñón.

Los taninos son uno de los diversos factores antinutricionales que se presentan en los frutos del café y se localizan principalmente en la cubierta de la semilla, con menor presencia en los cotiledones. El contenido de taninos es muy variado y depende según Marín (1985), de la especie y el color de la cubierta de la

semilla, lo anterior debido a que el contenido de los mismos sufre cambios durante la maduración del fruto.

Orskov (1982) y Vélez *et al.* (1985), afirman que las plantas que contienen alta proporción de taninos pueden ser resistentes a la degradación ruminal y a la vez, estos compuestos provocan que las proteínas se ligen con otras moléculas e inhiben la acción enzimática. Marín (1985), agrega que la baja digestibilidad de la proteína en subproductos como la pulpa de café, es atribuida a la formación de complejos con los taninos, los cuales se incorporan a la fracción de lignina que no es digerible.

2.4.Industrialización del Café

Según Alfaro (1996), el beneficiado de café se puede llevar a cabo por dos métodos: vía seca y vía húmeda. El método seco es utilizado principalmente en Brasil y África y origina los cafés llamados naturales o fuertes. El sistema húmedo da origen a los cafés lavados o suaves; estos generan el café oro, que va desde el recibo de café cereza hasta la obtención de café pergamino oreado.

Mora (1981), indica que en Costa Rica se utiliza el método húmedo, esto debido a que mantiene la calidad original de la plantación, con su consecuente aceptación y mejor precio en el mercado internacional.

En el beneficiado por vía húmeda, después de cosechados, los granos de café son llevados a los beneficios; donde la fruta con el procesamiento utilizado actualmente se recibe en seco y se añade agua para realizar los procesos de despedrar, clasificar y separar los granos verdes y secos y posteriormente se

transportan los frutos al despulpador (comunicación personal Lic. Albino Rodríguez, CICAPE).

Bressani (1978c) indica que el procesamiento del fruto del café para obtener los granos comerciales consiste básicamente en dos operaciones. La primera es el remojo o procesamiento húmedo que deja como subproductos pulpa de café, mucílago y aguas de desecho por una parte, y por otra, los granos de café y la cascarilla como unidad. La segunda operación es un proceso de secado que concluye almacenando el grano en depósitos.

El procesamiento industrial del café involucra las siguientes operaciones: despulpado, desmucilaginado, lavado, secado y posteriormente, la separación de la cascarilla para ser clasificado y envasado (Morales 1979).

2.4.1. Beneficiado del Café

Según Bressani (1978c), los frutos se transportan a los despulpadores, los cuales por un mecanismo de fricción, separan los granos de la pulpa. Alfaro (1996), agrega que los frutos más densos y los livianos son pasados a las cribas 1 y 2 separadamente. Allí se realiza una clasificación por tamaño con el fin de que los frutos sean despulpados en máquinas de calibre apropiado. Los frutos pequeños, provenientes de la criba 2 que contienen a los livianos, son de calidad inferior y se secan por el proceso natural. La pulpa es luego llevada mecánicamente por transportadores helicoidales o por medio de fajas transportadoras hacia un sistema de recolección de desperdicios o simplemente se apila para ser removida después; esto porque si se conduce con agua se aumenta la contaminación.

Una vez separados de la pulpa, los granos de café se transportan, ya sea hacia tanques de fermentación para fermentar e hidrolizar el mucílago, o hacia máquinas que sirven para el mismo propósito; esto con un estricto control del consumo de agua. Esta etapa se conoce como desmucilaginado.

Luego de la remoción del mucílago, los granos de café son lavados antes de pasar al proceso de deshidratación. Éste puede llevarse a cabo mediante secado al sol, en el cual los granos se revuelven constantemente, o mediante el secado con aire caliente en un tambor de cilindro perforado de diseño especial; al final de este proceso los granos deben quedar con una humedad de 11-12%. Una vez secos, se someten a un proceso de pelado o descascarillado, que consiste principalmente en la separación de la cascarilla (Bressani 1978c).

En resumen las etapas del proceso de beneficiado por vía húmeda son (Alterno 1996):

1. Clasificación: en esta primera etapa se separan las cerezas que no cumplen las características necesarias. La fruta fresca se recibe, se mide por volumen y se deposita en los sifones. Las cerezas sanas, tanto verdes como maduras, ascienden por un tubo vertical y se pasan generalmente por una máquina separadora de granos verdes, después de la cual se llevan por gravedad y algunas veces mediante bombeo, a las despulpadoras de primera.
2. Despulpado: esta operación se conoce también como chancado (se realiza en seco actualmente) y consiste en la separación del epicarpio y parte del mesocarpio del fruto mediante la aplicación de presión en un molino a las cerezas que, por la propiedad lubricante del mucílago, permiten el desprendimiento de las capas externas del grano que son luego eliminadas por una corriente de agua.

3.Desmucilaginado: después del despulpado, el grano de café tiene una capa exterior de mucílago cuya eliminación se hace por cualquiera de los tres métodos explicados en la sección 2.4.1.1.

4.Lavado: luego del desmucilaginado, el grano de café se limpia utilizando corrientes de agua a presión para desprender el pergamino de los restos de mucílago y azúcar adheridos. Se puede llevar a cabo por medio de canales de correteo, tanques, lavadoras horizontales y verticales, o lavado a presión. Después del lavado, el beneficio posee sistemas de separación del grano mediante diferencias en densidad en los llamados “cuellos de ganso” y por cribado, para procesar por separado los granos de café de diferente calidad. Posterior a este proceso el pergamino queda con una superficie áspera y de color blanco ligeramente pálido. Una práctica común, aunque no esencial, es el escurrido, éste disminuye el tiempo de secado. Puede efectuarse oreando el grano, o mecánicamente mediante el uso de escurridoras centrífugas.

5.Secado: este proceso se realiza con el fin de disminuir la humedad del grano desde un 52% hasta un 11-12%, para esto se utilizan dos métodos: secado en patios (con energía solar) o secado mecánico por lotes en tambores rotatorios con inyección de aire caliente denominados secadoras guardiolas. Lo anterior con un estricto control de la temperatura y humedad del grano, para obtener calidades superiores. Una vez secado el café, éste se almacena; ya sea directamente (café pergamino) o pelado (remoción de la cascarilla).

Cuando el café ha sido pelado (se le desprende el pergamino), se traslada a equipos que lo limpian de impurezas y se clasifica algunas veces por tamaño, densidad y color, para finalmente ser enfardado o colocado en contenedores para exportarlo o tostarlo para el consumo nacional; conservando las características especiales que fueron adquiridas por el origen de las diferentes zonas cafetaleras del país.

2.4.1.1. Procesos para la Eliminación del Mucílago

Según Cléves (1975), la eliminación del mucílago se efectúa siguiendo alguno de los siguientes procedimientos o una combinación de ellos: proceso bioquímico, proceso químico o proceso mecánico.

Esquivel y Canales (1993), indican que el proceso de desmucilaginado y secado son las fases del beneficiado más delicadas en lo que se refiere a la obtención de calidades finas de café.

A. Proceso Bioquímico

Dixon (1991) y Alfaro (1996), indican que éste ha sido el método tradicional usado en Costa Rica. Éste consiste en un proceso de fermentación, el cual es casi anaeróbico en su naturaleza y consiste en descomponer las sustancias pécticas. El café permanece en reposo el tiempo necesario para que se fluidifique el mucílago, éste debe moverse frecuentemente con el fin de homogenizar y controlar la finalización del proceso y para evitar problemas de acidez. El tiempo requerido para la digestión varía entre 6 a 72 horas, dependiendo de la temperatura, el grosor de la capa del mucílago, la concentración de enzimas pécticas presentes en el mismo y la recirculación de aguas en las etapas previas de transporte y despulpado. De forma que una recirculación intensa acorta el período de fermentación.

Según Alfaro (1996), para acelerar el proceso de fermentación es recomendable utilizar enzimas pécticas que influyen en el proceso de digestión del mucílago, evitando fermentaciones indeseables y mejorando la calidad del grano al disminuir el tiempo de beneficio. Por otro lado, el proceso de fermentación puede realizarse también en seco; en éste, el café despulpado se deja en la pila de

fermentación hasta que esté “a punto de lavado” y el tiempo del proceso es la mitad del requerido para la fermentación con agua.

El principal producto de la fermentación es mucílago hidrolizado soluble o ácidos, razón por la cual el pH disminuye durante el proceso y al final puede tener inclusive pH 4.

B.Proceso Químico

Este método consiste en separar las sustancias pécticas mediante una digestión alcalina, con el fin de formar pectatos que se eliminan fácilmente por el lavado. Esta es una operación rápida y de bajo costo, con la desventaja de que las características organolépticas se alteran detectándose cierta falta de acidez en la taza (Alfaro 1996).

En este proceso es posible utilizar diversos productos químicos para la digestión del mucílago del café. Entre estos se han probado el amoníaco, el hidróxido de potasio, carbonato de potasio y la soda caústica. Cléves (1975), indica que el más comúnmente utilizado es la soda caústica, aplicada en concentraciones de 2-3% durante periodos de alrededor de 20 minutos.

A este proceso se le atribuyen ciertas ventajas como la reducción del tiempo requerido para el beneficiado, economía en las inversiones necesarias para una planta y aumento en los rendimientos de conversión de café en fruta a café oro. A pesar de las ventajas que ofrece este proceso no es usado en el país; principalmente debido al hecho de que la dosificación de la soda caústica es un poco complicada y requiere la supervisión de un técnico. Además, debido a que una concentración mayor de 5% ataca el pergamino, lo penetra y mancha el grano (Cléves 1975).

C.Proceso Mecánico

La implementación de este proceso tiene como objetivo sustituir el proceso de fermentación. Con el proceso mecánico se logra la desmucilaginación del grano en menor tiempo y mayor cantidad, teniendo incluso la posibilidad de establecer un sistema de flujo continuo (Esquivel y Canales 1993).

Bressani (1978c), indica que el mucílago se separa mecánicamente por medio de abrasión sobre los granos, los cuales después del despulpado, pasan con agua a un cilindro perforado que gira sobre su eje y que contiene un tubo interior, también perforado, con un flujo de agua constante. En estos casos es posible reciclar el agua.

Para este tipo de proceso existen dos modelos de maquinaria, el primero es la desmucilaginadora ELMU (eliminadoras de mucílago), la cual se alimenta con café pergamino y durante su operación se requiere una cantidad menor de agua; con lo que es posible disminuir su consumo. El otro tipo es el desmucilaginador mecánico aquapulpa, el cual lava a flujo continuo sin fermentación, separando el mucílago del pergamino y permitiendo el secado tanto mecánico como natural (Esquivel y Canales 1993).

Las ventajas que presenta este sistema con respecto a la fermentación natural son según Bolaños (1998), que el proceso mecánico requiere menor cantidad de agua, la carga orgánica está más concentrada, da mejores rendimientos de grano oro, acorta el tiempo de procesamiento del café y elimina los riesgos de que la fermentación se prolongue demasiado, lo que puede afectar la calidad del producto final.

Esquivel y Canales (1993), establecen que la desventaja más notable del proceso de desmucilaginado mecánico es que el grano de café está propenso a sufrir daños superficiales o golpes que alteran la calidad del producto; sin embargo, con el desarrollo de nuevos modelos, el fabricante asegura que la calidad del grano no se verá afectada por la maquinaria.

Elías (1978) menciona que el mucílago de café durante el procesamiento debe retirarse tan pronto como sea posible después de separar la pulpa del grano de café. El contacto prolongado de estos dos materiales en esta etapa es una desventaja para la deshidratación del grano de café; ya que el producto final deshidratado se obtiene manchado y a la vez porque el mucílago constituye un excelente sustrato para el crecimiento de hongos, bacterias y otros microorganismos.

Adicionalmente, Cléves (1975) indica que el mucílago debe removerse inmediatamente después del despulpado porque debido a su condición de hidrogel retiene el agua, encareciendo y dificultando el secado del café. Durante este proceso si no se eliminan las mieles, los granos tienden a mancharse y adherirse entre sí.

2.4.2. Residuos del Beneficiado del Café

En general, los desechos de los procesos agroindustriales constituyen un elemento importante que puede alterar el equilibrio ambiental y poner en peligro la calidad de vida del ser humano. Según Wasser *et al.* (1992), el problema de la contaminación en el proceso de beneficiado se origina en la generación de una serie de subproductos que se consideraban de poco o nulo valor económico (desechos) y se concentra principalmente en la fase húmeda del proceso. El Cuadro 9 indica los residuos por fase del beneficiado del café.

Cuadro 9. Residuos del beneficiado del café

Fase	Residuo
Despulpado	Pulpa o broza
	Agua para transporte de café a la pila de fermentación
Desmucilaginado mecánico	Mucílago fresco
Lavado	Mucílago hidrolizado con agua
Secado	Residuos varios
Otras labores	Pergamino

Fuente: Morales (1979)

En el beneficiado de café la contaminación es de carácter orgánico, al estar el agua en constante contacto con los sólidos residuales de la etapa húmeda del proceso, disolviéndose las pectinas y quedando la materia coloidal en suspensión (Esquivel y Canales 1993).

Alfaro y Rodríguez (1994), mencionan que en el proceso de industrialización del café se dan emisiones considerables de aguas residuales que posteriormente constituyen focos de vectores que reducen la calidad del medio. A la vez, como resultado del beneficiado del café se producen residuos, tanto sólidos como líquidos, que representan un problema sanitario. Los residuos sólidos sin tratamiento constituyen un medio favorable para el desarrollo de moscas y otros insectos. Los residuos líquidos son vertidos a los ríos, aumentando el contenido de sustancias

orgánicas que, una vez en el río se descomponen y producen olores desagradables, produciendo la muerte de la flora y fauna acuática (Mora 1981).

Meza (1994), indica que la transformación de los desechos en subproductos podría constituirse en una alternativa de solución a los problemas de contaminación ambiental y a la vez, contribuir a mejorar la situación económica que enfrenta la actividad cafetalera.

2.4.2.1. Parámetros de Calidad de las Aguas Residuales del Beneficiado

Según Esquivel y Canales (1993), existen normas internacionales establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) referentes a la calidad del agua residual. Estos parámetros son: grado de acidez (pH), sólidos sedimentables y demanda química de oxígeno (DQO) principalmente. Además, se utilizan otros parámetros para expresar la cantidad de contaminación orgánica: sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos totales, color y temperatura del agua.

Uno de los principales propósitos de la regulación del pH en el beneficio es prevenir los malos olores y favorecer la actividad biológica aerobia o anaerobia en el tratamiento final (comunicación personal Lic. Albino Rodríguez, CICAPE).

La degradación biológica ocurre en forma óptima en un rango de pH de 6 a 7.5. Para las bacterias metanogénicas la operación debe llevarse a cabo a un pH de 7.2. Un desbalance en el proceso, en el caso anaeróbico, causa que las bacterias acidogénicas rápidamente sobrepoblen y se observa un aumento repentino en la concentración de ácidos volátiles y una disminución de la capacidad reguladora del sistema. Un pH menor de 6 detendrá la producción de metano casi inmediatamente

(Alterno 1996). Además, Pérez (1995), menciona que valores más allá de 8 o por debajo de 6 indican que las aguas salidas de la industria contienen cantidades alcalinas o ácidas y constantes desviaciones interrumpen los procesos biológicos.

El parámetro sólidos totales funciona como índice de contaminantes inorgánicos, los sólidos totales aumentan con concentraciones crecientes de iones y es un índice general de la adaptabilidad del agua para diversos usos (Salguero 1996).

La DQO es una medida del contenido de materia orgánica del agua en términos de la cantidad total de oxígeno requerido para oxidarla a CO_2 y agua. Los valores de DQO son mayores que los de DBO_5 porque en la determinación de la DQO es oxidada químicamente la materia orgánica sin importar si esta es biodegradable o no. Por otro lado, la utilización del ensayo de DQO es más frecuente que el de DBO_5 debido a que mientras un ensayo de DBO se realiza en cinco días, el de DQO tarda no más de tres horas. Además, el análisis de DQO permite obtener el balance de materia orgánica del proceso, lo que no es posible con el DBO_5 (Pérez 1995).

La DBO es una medida de la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de la materia orgánica biodegradable del agua por parte de los microorganismos presentes en un intervalo de tiempo dado y a una temperatura específica. Este análisis se lleva a cabo generalmente durante 5 días y con una temperatura de 20°C (Bolaños *et al.* 1987). Este parámetro se puede expresar como unidad de concentración en agua Kg DBO/m^3 , o como cantidad de materia orgánica de un desecho; $\text{Kg DBO/qq café producido}$.

Los sólidos suspendidos se refieren según Wasser *et al.* (1992) y Salguero (1996), a la cantidad de sólidos en suspensión que se encuentran en el flujo de aguas residuales, expresado en Kg SS/m³ y es un indicador del transporte de sedimentos.

La temperatura de las aguas residuales puede ser significativa porque se da una influencia sobre los procesos físicos y bioquímicos en la depuración de las aguas y altas temperaturas acrecientan la descomposición de las mismas (Pérez 1995).

Las aguas residuales del café si provienen del despulpado tienen un color café oscuro debido a pigmentos en los residuos de pulpa. Por el contrario, las aguas de lavado y desmucilaginado tienen un aspecto turbio color crema o lechoso debido a su mayor viscosidad (comunicación personal Lic. Albino Rodríguez, CICAPE).

2.4.2.2. Residuos Sólidos

Wasser *et al.* (1992), indican que a la pulpa de café se le considera como un desecho sólido con un alto valor contaminante si no es tratada adecuadamente. No obstante, la tendencia actual en el país es de utilizar los desechos sólidos; constituidos principalmente por la pulpa, los residuos retenidos en el tamiz que limpia las aguas crudas y los residuos secos del sedimentador primario, en la producción de abono orgánico que es devuelto a las fincas cafetaleras.

2.4.2.3. Residuos Líquidos

Según Alfaro y Rodríguez (1994), el agua es un recurso importante dentro del proceso de beneficiado. La cantidad de agua requerida en el beneficiado húmedo de una fanega de café es variable. Según Morúa (1974) citado por Alfaro y Rodríguez (1994), se consumen de 1 a 2 m³ de agua por fanega procesada. Desde la puesta en marcha del Convenio de tratamiento de las aguas del beneficiado se estableció como meta el consumo de 1 m³ de agua para el procesamiento de una fanega⁶ de café; sin embargo, en el presente el consumo promedio a nivel nacional es inferior a 0.5 m³ por fanega (comunicación personal Lic. Albino Rodríguez, CICAPE).

Las aguas residuales en los cauces acuáticos alteran las condiciones físico-químicas del medio, reduciendo el oxígeno disuelto, produciendo malos olores, aguas coloreadas, hasta el punto de alterar la flora y fauna acuática (Castillo 1993). Esta situación se agrava según Alfaro y Rodríguez (1994), cuando se inicia la disminución del caudal de los ríos, por efecto de la transición de la estación lluviosa a la seca. El Cuadro 10 muestra la caracterización de las aguas residuales del café, tipificadas por el Instituto del Café (ICAPE).

⁶ La fanega de café equivale a 400 L de fruta; se reporta como dobles hectolitros (dHL). De una fanega de café se obtiene un quintal de café oro.

Cuadro 10. Caracterización de las aguas residuales del café

Concepto	Valor Estimado
pH	6.5 - 8.5
Temperatura	18 – 22
Capacidad de putrefacción	Buena
Color	Café oscuro
Demanda bioquímica de oxígeno	1500 - 7000 mg/L
Demanda química de oxígeno	4700 - 7240 mg/L
Nitrógeno de amonio	1.8 - 2.4 mg/L

Fuente: Alterno (1996)

En el caso de los desechos líquidos (mieles de café), por cada 46 Kg de café oro, se producen 850 litros de aguas residuales, las cuales contienen azúcares, sustancias pécticas y productos de degradación que son parte del mucílago hidrolizado y del agua de lavado (Salguero 1996). En años anteriores, éstas eran depositadas en los ríos y se les llama aguas residuales.

Según Esquivel y Canales (1993), como consecuencia de la recirculación de las aguas, y en función del número de recirculaciones de un determinado volumen de agua, se da un marcado aumento en la demanda química de oxígeno (DQO), así como en la cantidad de sólidos disueltos. A la vez, estos autores mencionan que el poder autodepurante de los ríos no es capaz de manejar el volumen de materia orgánica de las vertidas de las mieles del café.

Alterno (1996), menciona que con respecto a los desechos líquidos el mayor problema que exhiben es su disposición indiscriminada, tanto en carga (contenido de sustancias contaminantes) como en volumen en los cuerpos de agua receptores. Asimismo, ciertas características físicas como olor, color o turbidez no deben causar molestia alguna, el agua no debe contener impurezas en concentraciones peligrosas, ni tener residuos excesivos de las sustancias que se emplearon en su tratamiento.

Las mieles del café provienen del desmucilaginado mecánico y una pequeña parte del lavado tradicional del fruto. Éstas presentan la característica de ser muy viscosas al tacto y de poseer altas concentraciones de materia orgánica. Su aspecto es turbio y su color varía del rojo oscuro al café. Este color es producido por restos de pulpa que acompaña al café desde las máquinas despulpadoras. Estas aguas presentan un pH ácido que se mantiene cerca de 5.0 (Bolaños 1998).

El poder contaminante de las mieles del café depende de la calidad inicial y reuso del agua, del procesamiento y equipos empleados, así como de la variedad, época de recolección y estado de madurez del café. De forma que existe una gran cantidad de valores de DQO para este vertido: con recirculación y según la manera en que ésta se realice. El cuadro 11 muestra ciertos parámetros del beneficiado de las aguas mieles:

Cuadro 11. Parámetros de residuos obtenidos del beneficiado húmedo para las aguas mieles del café en la Región de Los Santos

Parámetro	Agua Miel de Café
pH	4.0 – 5.0
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	4000 - 7000
DQO (mg/L)	20272- 33691
DBO ₅ (mg/L)	11173-18514

Fuente: Lic. Albino Rodríguez CICAPE, comunicación personal

2.4.3. Convenio Interinstitucional para la Descontaminación de las Aguas Residuales del Beneficiado del Café

Vásquez (1997), establece que la forma de tomar conciencia creciente, la generación de nuevas tecnologías y la voluntad de la sociedad costarricense está determinando que se abandone la concepción negativa de manejo de desechos del café y se visualicen los mismos como valiosos subproductos.

El Instituto del Café de Costa Rica por medio de su Centro de Investigaciones en Café propuso un programa de descontaminación, el cual fue acogido por cuatro instituciones y se convirtió en un Convenio de Cooperación entre éstas. Meza (1994), menciona que el Convenio Interinstitucional: Instituto Costarricense del Café (ICAPE) - Ministerio de Salud Pública (MSP) – Acueductos y Alcantarillados (AyA) – Servicio Nacional de Electricidad (SNE) se suscribió el 27 de agosto de 1992, dada la gravedad de la situación ambiental en Costa Rica, el mismo no tiene rango de decreto ejecutivo ni de ley; sin embargo, tal condición no impide que éste sea

implementado. Esquivel (1998), agrega que los acuerdos firmados en dicho convenio debían cumplirse en un plazo no mayor a tres años desde su firma; sin embargo, lo anterior no se logró en el tiempo fijado, por lo que se firman dos ampliaciones al convenio original.

La existencia de la Ley de Conservación de Vida Silvestre regula el vertido de aguas a los ríos, sirviendo a la vez de estímulo para el cumplimiento del Convenio; esto porque la Sala Constitucional se ha pronunciado en diversas ocasiones sobre el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado y la necesaria protección que se debe dar al medio ambiente (Esquivel 1998).

Vásquez (1997), menciona que el Convenio plantea un programa a ser realizado en cuatro etapas cuya meta más importante es reducir la contaminación generada por esta agroindustria en 80%. El mismo establece como obligatorias diversas prácticas, las cuales involucran cambios importantes en el proceso de beneficiado (tecnología limpia); así como tratamientos orientados a la remoción de sólidos gruesos y suspendidos, dejando la tarea de la remoción de sólidos disueltos al tratamiento anaerobio. El Convenio establece las siguientes etapas:

Etapas I. Reducción del Uso del Agua en el Beneficio

Anteriormente se empleaban 15.5 L de agua/Kg de fruta beneficiada. Con la firma del Convenio se establece como meta obligatoria la disminución del consumo de agua a una cuarta parte; es decir, 3.87 L/Kg de fruta.

La actividad de beneficiado de años atrás ha empleado grandes cantidades de agua en su fase húmeda. Es por esto que la recirculación de las aguas no solo es obligatoria para lograr la viabilidad económica del tratamiento de las aguas

residuales del café; sino que de acuerdo a investigaciones del ICAFE, la recirculación disminuye la liberación de sólidos por pulpa hasta en un 30% cuando la concentración de las aguas se ubica en 11000 mg/L de DQO. Cuando esa concentración se ubica en 30000 mg/L de DQO, la liberación de contaminantes por la pulpa puede bajar hasta en más de 50%. A la vez, la recirculación ha disminuido considerablemente los periodos de fermentación de las mieles que envuelven la semilla.

La recirculación de las aguas es según Esquivel y Canales (1993), un procedimiento que se ha venido desarrollando debido a la disminución de los recursos hídricos del país y como un método viable para reducir el consumo específico de agua en los centros de beneficiado. Wasser *et al.* (1992), mencionan que con la recirculación de las aguas se logran reducir significativamente los volúmenes de agua utilizados, lográndose en algunos casos disminuirlos hasta en un 80%.

Etapas II. Recuperación de Sólidos Pequeños de las Aguas Residuales del Beneficiado

En esta etapa se estableció como obligatorio el empleo de tamices finos, los cuales permiten la recuperación de sólidos mayores a 0.75 mm de grosor. Se establece también como obligatorio la separación eficiente de la pulpa y la disposición final adecuada de la misma.

Etapa III. Disminución del 50% de los Sólidos Suspendidos

Se implementa en esta etapa la construcción de tanques sedimentadores así como de pequeñas lagunas de lodo para la disposición de los sedimentos. A la vez, se establece como obligatorio el despulpado en seco de las cerezas y el transporte no hidráulico de la pulpa.

Etapa IV. Tratamiento Anaerobio de las Aguas

En esta etapa la meta es la reducción de contaminantes en 80%, en términos de DQO y DBO. El fin es reducir la carga de DQO de 28.5 Kg por fanega de café en 1992 a 1.50 Kg en 1998.

Bolaños (1998), menciona que existe una tendencia a ver los sistemas de tratamiento de agua como un “mal necesario”, una construcción que solo genera gastos pero que si no se realizan, la planta de beneficiado corre el riesgo de ser clausurada. Sin embargo, un sistema de reducción de la contaminación también puede generar beneficios para las empresas ya que se pueden obtener ingresos económicos que, aunque no necesariamente produzcan grandes ganancias, permitan reducir los gastos de un sistema de tratamiento.

2.5.Respuesta Animal

Jarquín (1978), explica que el uso de un nuevo ingrediente como alimento requiere el conocimiento adecuado de su valor nutritivo, lo que implica inicialmente su aceptabilidad por parte de la especie animal a la cual se le suministre, así como del contenido y eficiente utilización de sus nutrientes. A este respecto, Cabezas (1976) menciona que la composición química es sólo un indicador del valor potencial que como alimento tiene un material, el valor nutritivo real puede ser establecido sólo

mediante ensayos biológicos en los que se determina el consumo voluntario, la digestibilidad y la eficiencia de utilización de los nutrientes del alimento por parte de los animales. A la vez, según Cabezas *et al.* (1978), uno de los principales factores que determinan el valor nutritivo de un alimento, es la cantidad que los animales consumen voluntariamente cuando tienen acceso libre a él.

2.5.1. Pulpa de Café en la Alimentación del Ganado Bovino

Según Bressani (1978a), la presencia de pulpa de café en la dieta induce una disminución en el consumo de alimento. Lo anterior es atribuido a la palatabilidad de la pulpa, lo que puede corregirse parcialmente con la adición de melaza de caña, mezclando la pulpa con el pasto o ensilándola. El autor menciona que existe una tendencia en todos los animales a adaptarse al consumo de pulpa, pero la disminución en la ingestión del alimento resulta en una ganancia de peso baja y pobre conversión alimenticia.

Cabezas *et al.* (1978) mencionan que en estudios realizados en el pasado con pulpa de café se encontró que una de las limitantes para el uso de este material como alimento para el ganado es la renuencia de los animales a consumirlo; principalmente cuando éste constituye el principal ingrediente de la ración. El consumo voluntario de la pulpa de café aumenta cuando es suplementada con alimentos de alta palatabilidad, forrajes y concentrados proteicos. A la vez, los mismos autores mencionan que otros factores que afectan el consumo y utilización de la pulpa de café por los animales son el tiempo durante el cual la consumen y el método empleado para introducirlo en la ración. Según Vargas *et al.* (1977a) y Jarquín (1987), los animales tienden a consumir mayores cantidades de pulpa y a utilizarla más eficientemente a medida que transcurre el tiempo durante el cual la consumen. Éste fenómeno ha sido interpretado como una adaptación de la flora ruminal y del animal mismo al consumo de pulpa.

Elías (1978), explica que alrededor del 40% del nitrógeno total de la pulpa de café determinado por el método de Kjeldhal, corresponde a nitrógeno no proteico. Esta fracción de nitrógeno no proteico incluye cafeína, trigonelina, niacinas, purinas, pirimidinas y nitrógeno inorgánico. Por consiguiente, una baja concentración de aminoácidos en la pulpa de café puede deberse según el autor a que solamente alrededor del 60% del nitrógeno proviene de la proteína. Lo anterior explica parcialmente el comportamiento de la pulpa de café en la alimentación animal, donde según las pruebas realizadas con animales se encontró que existe un efecto del nivel de proteína en contrarrestar la toxicidad de la pulpa de café. Estos hallazgos pueden relacionarse con el hecho de que los valores de proteína en las dietas experimentales fueron calculados en el pasado basándose en que todo el nitrógeno de la pulpa era parte de la fracción proteica.

A la vez, debido al contenido relativamente alto de taninos en la pulpa de café y al hecho de que dicho compuesto puede reaccionar con la proteína (Tamir y Alumet 1969, Van Buren y Robinson 1969; citados por Elías 1978), es posible que esta reacción provoque que parte de los aminoácidos no sea disponible para el animal. Al respecto, Cabezas *et al.* (1978) indican que la pulpa de café afecta negativamente el consumo de alimento y las ganancias de peso en los bovinos, pero estos efectos disminuyen cuando se añade proteína a la ración. Lo anterior demuestra que el porcentaje de proteína en la ración es un factor limitante en el uso adecuado de la pulpa de café para los animales, de tal manera que al aumentar el nivel de pulpa de café, el porcentaje de proteína en la ración de los animales también debe aumentarse (Bressani y Elías 1976).

Uno de los síntomas observado durante la experimentación con pulpa de café se ha asociado a la toxicidad de la pulpa y consiste en la pérdida de pelo de los animales. Esta tendencia sin embargo desaparecía conforme disminuyera la concentración de taninos y ácidos cafeico y clorogénico (Molina *et al.* 1974a). Lo anterior es interesante debido al hecho de que el ácido cafeico ha sido reportado

como una sustancia que produce una leve toxicidad y un tipo de dermatitis en las personas (Stecher 1968; citado por Molina *et al.* 1974a).

Bartley *et al.* (1978), reportan que el fluido ruminal de novillas de leche que recibieron pulpa de café en la dieta presenta una disminución significativa en la concentración total de ácidos grasos volátiles a diferencia de los animales que no se alimentaron con pulpa; de modo que la pulpa de café puede inhibir la acción fermentativa de los microorganismos del rumen.

Alfaro *et al.* (1974), mencionan que en estudios realizados con vacas lecheras se logró sustituir el sorgo por pulpa de café deshidratada en mezclas balanceadas sin que se presentaran trastornos en la producción de leche. Con respecto a lo anterior, Mather y Apgar (1956), mencionan que el uso de pulpa de café en la alimentación de ganado lechero no afecta la producción, el contenido de grasa o sabor de la leche; sin embargo, reduce de forma significativa el peso corporal de las vacas y el crecimiento de las novillas.

Por otro lado Xu *et al.* (2007) y Cabezas *et al.* (1978), mencionan que al incorporar altas concentraciones de pulpa de café fresca (más de 20%) en la dieta animal decrece la digestibilidad de la materia seca, la proteína, fibra y energía y tiene efecto negativo sobre la retención de nitrógeno; sin embargo aumenta la cantidad de grasa.

Los animales alimentados con niveles mayores al 20% de pulpa de café en la ración, tienden a orinar con mayor frecuencia y cantidad, produciendo al final una alta concentración de nitrógeno de urea y ácido úrico en la orina (Cabezas *et al.* 1978, Bressani y Elías 1976, Cabezas 1976, Vargas *et al.* 1977a,b, Bressani 1978, Cabezas 1974, Campbell *et al.* 1976, Estrada 1974 y Vargas 1974). Este efecto diurético causado por la cafeína condiciona el consumo de agua; a la vez, al retenerse menos nitrógeno se afecta la conversión alimenticia y se requiere más

cantidad de alimento para alcanzar el peso corporal meta. Elías (1978) menciona que la concentración de potasio en la pulpa de café puede alcanzar valores hasta de 1.76%, lo que puede limitar su uso en la alimentación animal debido a que induce el incremento de la eliminación de sodio en la orina; al igual que la reducción del consumo y pérdida de peso.

Según Cabezas (1976) y Molina *et al.* (1990), la presencia en las raciones de niveles mayores de 0.12% de cafeína y 0.75% de taninos producen efectos adversos en el consumo y la utilización del alimento por los animales. Estos efectos son más notorios a medida que aumentan las concentraciones de tales compuestos en las raciones. Madrigal (1987) agrega que los taninos afectan la ganancia de peso y la conversión alimenticia ya que causan limitaciones en la utilización de los nutrientes al ligarse con ellos y de esta forma no son disponibles para ser digeridos por los animales.

Existe evidencia de que algunos compuestos fenólicos liberados durante la degradación microbiana de materiales fibrosos de plantas, pueden inhibir el crecimiento de ciertas bacterias del rumen y deprimir la digestión de la celulosa; entre dichos compuestos fenólicos se encuentra el ácido cafeico (Jung *et al.* 1983, Chesson *et al.* 1982 y Jung 1985, citado por Ferreira *et al.* 2001).

De acuerdo a Flores (1976) citado por Cabezas *et al.* (1978), la ausencia de forraje en las raciones con altos niveles de pulpa y melaza provoca timpanismo en el ganado. Bressani y Elías (1976) mencionan que la presencia de casos de timpanismo es frecuente en los bovinos alimentados con pulpa de café; especialmente en animales confinados y donde la única fuente de fibra es la pulpa; ya que no existe una motilidad adecuada del rumen y el animal no puede expulsar los gases que se originan de la fermentación. Lo anterior se agudiza si se emplean altos niveles de melaza en la dieta.

Flores (1976) citado por Cabezas *et al.* (1978) indica que en bovinos de carne confinados y alimentados con raciones a base de pulpa de café puede presentarse inflamación de las extremidades y la aparición de llagas o úlceras en la piel. El primero de los problemas ha sido atribuido a casos en que los animales se encuentran en corrales con piso de concreto y sin drenaje adecuado, lo que favorece la acumulación de orina que como se mencionó es excretada en mayor cantidad por los animales que consumen pulpa de café; la forma de solucionar este problema es según Bressani y Elías (1976) colocar los animales en corrales con buen desnivel en el piso y que parte del corral sea de tierra. Por otro lado, la aparición de llagas en la piel se presenta esporádicamente y dicho fenómeno podría ser causado según Flores, por las aflatoxinas producidas por hongos del tipo *Aspergillus sp.* que crecen en la pulpa de café que es deshidratada o ensilada después de varios días de ser producida y acumulada al medio ambiente.

Según Bressani y Elías (1976), del hongo mencionado las especies que tienen un efecto más dañino son *Aspergillus flavus* y *Aspergillus fumigatus*, estos cuando son ingeridos a través del alimento producen toxinas a nivel de rumen que pasan luego al torrente sanguíneo y de allí se trasladan hasta las células del organismo. De forma que las toxinas distorsionan totalmente el metabolismo de las proteínas, minerales y reduce el nivel de leucocitos. La respuesta de los animales a los efectos de dichas toxinas pueden ser ulceraciones en la piel, deformación de la estructura ósea, intranquilidad, pérdida de apetito y disminución considerable de la ganancia de peso y/o producción.

Finalmente, Bressani (1978a) resume los efectos fisiológicos adversos observados en animales alimentados con pulpa de café de la siguiente forma: bajo consumo de alimento, baja palatabilidad, pobre eficiencia de conversión, emaciación cuando el nivel de proteína cruda aportado por la pulpa es alto, lesiones dérmicas, pérdida de pelo, aumento de la excreción de orina, balance de nitrógeno bajo,

digestibilidad baja de la proteína, aumento temporal de la libido y mayor actividad física.

2.5.2. Pulpa de Café en la Alimentación de Cerdos

Según Marín (1985) y Bressani *et al.* (1973), el uso de la pulpa de café en formulaciones para monogástricos tiene ciertas limitaciones debido al contenido alto de fibra, ya que la fisiología y microflora de este tipo de animales, los incapacita de digerir eficientemente materiales de esta naturaleza.

Jarquín (1978), Jarquín y Bressani (1977) y Jarquín *et al.* (1974), probaron la pulpa de café en la alimentación de cerdos y mencionan que para la utilización de este material en nutrición porcina es necesario reducir la pulpa de café a un tamaño de partícula adecuado antes de ser añadido a las raciones, y que en cuanto a la aceptación del material por parte del animal, ésta puede mejorarse a través de la incorporación de niveles adecuados de melaza; sin embargo el alto contenido de fibra y otros factores de la pulpa prolongan la etapa de crecimiento del cerdo.

Bressani (1978a), menciona que los efectos adversos observados en cerdos alimentados con pulpa de café son: bajo consumo de alimento, eficiencia de conversión baja, nerviosismo, aumento en la excreción de orina y balance de nitrógeno así como digestibilidad bajos.

Finalmente, la pulpa de café dejó de utilizarse en la dieta animal debido a que no presenta utilidad nutritiva para los animales en ninguna de sus formas (ensilada, fermentada, seca) debido a su alto contenido de fibra, lignina y potasio. La lignina es un factor adverso que interfiere en la utilización de la celulosa y otros nutrimentos disminuyendo el nivel nutritivo de la pulpa (Rubio y Pineda 1974).

2.5.3.Mucílago de Café en Alimentación Animal

Buitagro *et al.* (1970), probaron el uso de “melaza de café”, que se obtuvo mediante la concentración del mucílago y la pulpa del grano de café, en la alimentación de cerdos. La melaza de café se utilizó comparándola con la melaza de caña y se encontró que para ambos tratamientos los cerdos tuvieron adecuadas ganancias de peso y eficiencia de conversión sin que se presentaran diferencias significativas entre los tratamientos.

En otra investigación, Garavito y Puerta (1998) estudiaron el uso de mucílago de café en la alimentación de cerdos en Colombia, en dicho estudio se encontró que el contenido de agua en el mucílago varía entre el 85 y 90%, además está constituido por 0.95, 0.08 y 0.45% de proteína, grasa y cenizas respectivamente. En el mucílago están presentes los siguientes contenidos de minerales 1.55 % K, 0.23% Ca, 0.15% Mg, 0.19% P en mayor proporción y se encuentran trazas de 0.063% Fe, 0.01% Zn, 0.003% Mn y 0.005% Cu en base seca. El contenido energético del mucílago está representado principalmente por los carbohidratos.

Por otro lado, las características fisicoquímicas y la composición química del mucílago concentrado; así como la ausencia de factores antifisiológicos son factores que hacen potencialmente apropiado a este subproducto para utilizarse como suplemento en la alimentación animal, constituyendo su uso una solución parcial al problema de la contaminación causada por el proceso de beneficio húmedo de café.

En el estudio de Garavito y Puerta se evaluó la aceptación del mucílago de café en dos ciclos de engorde de cerdos; se utilizaron dietas con niveles de 20, 30 y 40% del mucílago en estado fresco y fermentado y se compararon con el uso de concentrado como control y en mezclas con el mucílago. Las conclusiones del

experimento llevado a cabo fueron: el promedio de peso final de los cerdos que se alimentaron con mezclas de mucílago y concentrado en todas las proporciones y estados fue de 76.5 kg, obteniéndose el mayor promedio de peso (82.7 Kg) con la mezcla que incluyó el 20% de mucílago fresco (2 L de MS). Por otro lado, los animales que consumieron únicamente mucílago tanto en forma fresca como fermentada, perdieron 300 g diarios en los primeros 14 días y 100 g diarios durante los siguientes períodos hasta el final del ciclo de engorde. Esto se explica por el bajo aporte calórico y de nutrientes del mucílago como única fuente de alimento en la ración; por lo que debe ser usado como complemento en la dieta.

Garavito y Puerta (1998), mencionan que la conversión alimenticia fue mejor para los tratamientos que incluyeron mucílago fresco que fermentado y que el mucílago de café es un producto dulce al paladar y no presenta problemas de aceptación por parte de los cerdos. Asimismo, indican que la calidad de la carne no se afecta cuando se suministra mucílago como complemento de la dieta.

Finalmente, las autoras mencionan que se obtienen ganancias de peso, conversión alimenticia y ganancias económicas comparables a las de los animales alimentados con una dieta de 100% concentrado, al utilizar 20% de mucílago y 80% de concentrado. Asimismo, Garavito y Puerta (1998) recomiendan suministrar el material fresco; preferiblemente inmediatamente después de obtenido del desmucilagador mecánico, o refrigerado a 4°C, o durante un tiempo menor de 24 horas a temperatura ambiente. Además, Ferreira *et al.* (2001), mencionan que aquellos alimentos que poseen factores que pueden interferir en el proceso fermentativo de los animales deben ser utilizados con cautela o cierta restricción, para no afectar el metabolismo ruminal.

2.6.Conservación de las Mielles de Café

Las mieles de café presentan la característica de ser muy fermentables debido al alto contenido de agua presente en las mismas. Lo anterior dificulta su utilización si no se cuenta con un adecuado proceso de almacenamiento o conservación; ya que al igual que la pulpa (Cabezas 1976), la principal limitante para su uso en alimentación animal es su alto contenido de agua, lo que dificulta su manejo, transporte y almacenamiento.

Los microorganismos necesitan agua para su crecimiento y metabolismo y por lo tanto, cualquier método que elimine agua evita la proliferación microbiana. Las necesidades de agua para el crecimiento de los microorganismos se definen en términos de la actividad de agua de su ambiente. En consecuencia, cualquier sustrato sobre el que se multipliquen los microorganismos es, desde un punto de vista práctico, una disolución acuosa (Nickerson y Sinskey sf).

Al respecto Frazier (1976), indica que cada microorganismo tiene una actividad de agua máxima óptima y mínima para su crecimiento. Al reducir dicha actividad de agua por debajo del nivel óptimo se alarga la fase de latencia, disminuye la velocidad de crecimiento y la cantidad de sustancia celular sintetizada.

A la vez, el intervalo entre la máxima y mínima cantidad de agua depende de ciertos factores: del compuesto utilizado como “preservante”, aunque en numerosos microorganismos y en especial los hongos, la actividad de agua mínima es prácticamente independiente del producto utilizado. Otros microorganismos, en cambio, ofrecen diferentes actividades de acuerdo con el producto utilizado, ya que la toxicidad varía entre los distintos compuestos químicos. De esta forma, la presencia de inhibidores acorta el intervalo de actividad acuosa que permite el crecimiento de los microorganismos. Otros factores de los que depende son el valor

nutritivo del medio de cultivo, la temperatura, el suministro de oxígeno y el pH (Frazier 1976).

Los diversos microorganismos tienen un pH al que su velocidad de crecimiento es máxima, así como un pH por encima o debajo del cual no existe crecimiento. Generalmente, los hongos y levaduras crecen mejor en medios ácidos, mientras que la mayoría de las bacterias se multiplican mejor en medios de pH 7.0 o ligeramente alcalinos. Sin embargo, existen especies bacterianas que proliferan a concentraciones de pH tan bajas como 3.0 o tan altos como 11.0 (Nickerson y Sinskey sf).

Los productos “dulces” que contienen cantidades considerables de carbohidratos están expuestos a la contaminación por microorganismos que se encuentran en el ambiente; aún después de que hayan sido industrialmente tratados con calor, en especial por bacterias aerobias mesófilas, hongos y levaduras (Smittle y Erickson 2001).

Al respecto Frazier (1976) y Fleming *et al.* (2001), agregan que en productos como melazas es muy frecuente que se presenten alteraciones químicas en los lugares donde se almacenan. De forma que la fermentación se puede atribuir: a la reacción entre los aminoácidos y la glucosa con desprendimiento de dióxido de carbono; este tipo se ve favorecido por temperaturas elevadas (40°C) y en el caso de temperaturas inferiores es cuando contribuyen a la producción de gas algunos tipos de levaduras. Por otro lado, algunas melazas son lo suficientemente ácidas como para producir un abombamiento por hidrógeno en almacenamientos prolongados.

Las mieles de café no son iguales en su contenido nutricional que las mieles convencionales de consumo humano; sin embargo pueden ser ligeramente comparadas con las melazas con el fin de estudiarlas y tener un mejor conocimiento de su reacción con el medio ambiente. De modo que, Frazier (1976) menciona que debido al alto contenido de azúcares de la miel y a su bajo pH (3.2-4.2), la causa principal de la alteración es por las levaduras osmófilas; algunas especies de *Saccharomyces* y que los mohos no crecen bien en este tipo de alimentos; sin embargo, es posible hallar especies de lento crecimiento.

La miel es higroscópica, por lo que se diluye en la superficie donde las levaduras empiezan a desarrollarse y pronto se adaptan a las altas concentraciones. La cristalización de la glucosa en la miel disminuye la concentración de azúcar en la solución, la humedad crítica para que comience el desarrollo de las levaduras se encuentra próxima al 21%. El proceso fermentativo produce principalmente dióxido de carbono, alcohol y ácidos no volátiles que le proporcionan a la miel un sabor extraño. Generalmente, la cristalización y el oscurecimiento acompañan a la fermentación.

2.6.1.Bacterias

Frazier (1976), indica que uno de los primeros pasos para la identificación de las bacterias en los alimentos es su examen microscópico para determinar la forma, tamaño, agregación, estructura y reacciones de tinción de las bacterias presentes.

Cada bacteria tiene una temperatura óptima que es aquella a la que mejor se desarrolla; de forma que las bacterias mesófilas son aquellas cuya temperatura adecuada de incubación se encuentra entre los 30-37°C, las que crecen bien a

temperaturas de refrigeración, psicrófilas y aquellas cuyo óptimo supera los 45°C, termófilas.

Según Moreno *et al.* (1985), los recuentos de gérmenes son viables y potencialmente útiles para fines específicos; sin embargo, el recuento de bacterias aeróbicas mesófilas es el más comúnmente utilizado para indicar la calidad sanitaria de los alimentos.

Los mismos autores indican que la mayoría de los alimentos deben ser considerados como inadecuados para el consumo cuando tienen un gran número de microorganismos, aún cuando éstos no sean conocidos como patógenos y no hayan modificado de forma apreciable los caracteres organolépticos del alimento. Lo anterior se debe a que recuentos altos en alimentos estables a menudo indican materias primas contaminadas o tratamientos no satisfactorios desde el punto de vista sanitario.

Los niveles de población precisos para producir modificaciones organolépticas varían ampliamente según el tipo de alimento y el tipo de microorganismo. En el momento en que la descomposición puede ser detectada por el olor, sabor o aspecto, la mayoría de los alimentos contienen más de 10^6 microorganismos por gramo. Algunos alimentos pueden ya ser inaceptables cuando contienen 10^7 bacterias por gramo, pero un número reducido de ellos se consumen aún cuando la población bacteriana alcanza los 10^8 /gramo. No obstante, los recuentos elevados de bacterias mesófilas en productos crudos o no tratados, a menudo están constituidos por la microflora normal o quizás indican una alteración incipiente del alimento y no un peligro potencial para el consumidor (Moreno *et al.* 1985).

2.6.2.Hongos y Levaduras

Los hongos son organismos heterótrofos o que requieren compuestos orgánicos para su nutrición. Los hongos comprenden a los mohos (filamentosos) y las levaduras (generalmente unicelulares). No obstante, cuando los hongos se alimentan de materia orgánica muerta se conocen como sapófitos; los cuales descomponen restos vegetales y animales degradándolos a sustancias químicas más sencillas que son devueltas al suelo, este tipo de hongo es muy importante en el proceso de fermentación (Ferraro 1995).

Los hongos tienen un pH óptimo mucho más bajo que la mayoría de las bacterias, según Beuchat y Cousin (2001), el rango de pH de crecimiento para hongos y en menor grado para las levaduras es de menos de 2 hasta por encima de 9; sin embargo, una vez que estos organismos han logrado establecerse y si no ocurren cambios fuertes de pH, son capaces de cambiar el pH inicial del sustrato por uno más favorable para su crecimiento; normalmente entre 4 y 6.5. Además, tanto las levaduras como los hongos precisan para su crecimiento cifras de actividad acuosa mucho menores que las bacterias, y los de importancia por su crecimiento en los alimentos son en su mayoría aeróbicos.

La mayoría de las levaduras comúnmente encontradas en los alimentos crecen mejor en medios en los que disponen de gran cantidad de agua y los azúcares son las mejores fuentes energéticas para el crecimiento de las mismas (Frazier 1976).

Las necesidades nutricionales de la mayor parte de los hongos son sencillas, ya que pueden crecer en medios de sales inorgánicas, con la adición de un carbohidrato como fuente energética (Nickerson y Sinskey sf).

Según Frazier (1976), la mayoría de los hongos pueden considerarse mesófilos; es por esta razón que crecen bien a temperatura ambiente. La temperatura óptima para la mayoría de ellos es de 25-30°C.

El crecimiento de los hongos en los alimentos se distingue fácilmente por su aspecto aterciopelado o algodonoso. La parte principal del hongo en crecimiento generalmente es blanca; sin embargo puede ser coloreada, estar oscurecida o como ahumada (Frazier 1976).

Las levaduras son oxidativas, fermentativas o ambas. Las primeras pueden crecer formando una película sobre la superficie de los líquidos y se denominan levaduras formadoras de película. Por el contrario, las levaduras fermentativas suelen crecer en toda la masa líquida. Las levaduras tienden a ser difíciles de distinguir en cultivos sobre agar de las colonias bacterianas; por lo que la única forma de diferenciarlas es por análisis microscópico (Frazier 1976).

Smittle y Erickson (2001), explican que debido a la importancia que tienen las levaduras como organismos capaces de deteriorar o fermentar los alimentos, éstas han sido ampliamente estudiadas y se determinó que forman parte de la flora normal de la materia prima de productos como mieles, siropes y melazas. Al respecto indican que al ser materiales altamente higroscópicos y viscosos, permiten el desarrollo de la relación agua-carbohidratos adecuado para el ambiente que las levaduras requieren para su crecimiento. Por otro lado, los mismos autores consideran que bajo condiciones aeróbicas, los hongos crecen en los productos “dulces” mencionados; en especial en aquellos a los que no se les adiciona un tipo de preservante. Los hongos se desarrollan en la superficie, especialmente una vez que el alimento ha sido abierto y entra en contacto con el ambiente.

Ferraro (1995), indica que los hongos pueden ser inhibidos o eliminados por completo mediante la utilización de sustancias químicas, las que reciben el nombre de sustancias fungistáticas o fungicidas. Los compuestos con actividad fungistática producen una condición en la que se previene o inhibe el crecimiento del hongo, mientras que las sustancias con actividad fungicida eliminan por completo al microorganismo.

Entre los compuestos empleados como fungistáticos se encuentran: los ácidos propiónico, caprílico, acético, sórbico y los propionatos, sorbatos y propilenglicol. De los anteriores los más empleados en los alimentos son los propionatos y sorbatos.

Por otro lado, el dimetil dicarbonato (DMDC) es según Davidson *et al.* (2002), ligeramente soluble en agua y se usa principalmente como antimicrobial para las levaduras; incluyendo *Saccharomyces* y *Zigosaccharomyces*.

2.6.3.Métodos de Conservación

Frazier (1976) indica que existen diversos métodos de conservación de los alimentos; sin embargo los principales son: asepsia, eliminación de microorganismos, mantener condiciones anaerobias (generalmente por medio de recipientes herméticos), empleo de temperaturas altas o bajas, desecación, destrucción mecánica de microorganismos y el empleo de conservadores químicos que pueden ser producidos por los microorganismos o adicionados al alimento.

Según Nickerson y Sinskey (sf), con el fin de evitar la descomposición microbiana de los alimentos se puede añadir a estos diversos compuestos químicos. En algunos casos sólo se consigue aumentar la vida de almacenamiento de los alimentos conservados a temperaturas de refrigeración o superiores; en ocasiones

es conveniente añadir más de un compuesto químico. En otros casos los compuestos químicos adicionados a los alimentos estabilizan indefinidamente estos productos a temperatura ambiente debido a su acción inhibitoria sobre el crecimiento y actividad microbianos, en estos casos se aplican otras estrategias como la elevación en el contenido de sólidos solubles o la desecación, hasta niveles relativamente bajos de humedad que, en combinación con los productos químicos, evitan la descomposición microbiana.

2.6.3.1.Conservación Mediante el Empleo de Temperaturas Bajas

Según Frazier (1976) y Jay (1978), las temperaturas bajas se usan para retardar las reacciones químicas y la acción de las enzimas; así como para retrasar o inhibir el crecimiento y actividad de los microorganismos que se encuentran en los alimentos. Cuanto más baja sea la temperatura, más lentas serán las reacciones químicas, la acción enzimática y el crecimiento bacteriano; una temperatura suficientemente baja inhibirá el crecimiento de todos los microorganismos. Las temperaturas ligeramente inferiores a las de congelación mantienen los alimentos en condiciones casi similares a las originales sin tratamientos previos especiales. El tiempo de almacenamiento, sin embargo, es limitado y la refrigeración artificial es cara; siendo crítica para ciertos alimentos la temperatura de almacenamiento.

Cualquier alimento crudo, sea vegetal o animal contiene un número variable de bacterias, levaduras y hongos, que para alterarlo sólo necesitan condiciones de crecimiento adecuadas. Las temperaturas más frías previenen el crecimiento, pero aunque lentamente, pueden continuar la actividad metabólica. Lo anterior indica que, el disminuir la temperatura ordinaria de un alimento produce efectos diferentes en los microorganismos presentes. De forma que una disminución de 10 °C puede detener el crecimiento de ciertos microorganismos y retrasar el de otros en una proporción que varía con el tipo de microorganismo.

La congelación no solo priva a los microorganismos de la mayor parte de humedad presente; sino que también aumenta la concentración de las sustancias disueltas en el agua no congelada, por lo que reduce la cantidad de agua utilizable.

El éxito de este método de conservación depende de ciertos factores: de la clase de microorganismo y fase de crecimiento en que se encuentra, de la temperatura de refrigeración y almacenamiento, el tipo de alimento y el tiempo de almacenamiento.

2.6.3.2.Conservación Mediante el Empleo de Sustancias Químicas

Frazier (1976), explica que los preservantes son agentes químicos que sirven para retardar, evitar o enmascarar los cambios indeseables que sufren los alimentos. Tales cambios pueden ser originados por microorganismos, enzimas del alimento o reacciones químicas. La inhibición del crecimiento y actividad microbiana es uno de los fines principales del uso de conservadores.

Los conservadores inhiben a los microorganismos alterando sus membranas celulares, su actividad enzimática o mecanismos genéticos. Estas sustancias químicas pueden ser usadas como estabilizadores que evitan cambios físicos, como agentes fijadores o como revestimientos o envolturas que evitan la contaminación bacteriana y previenen la pérdida de humedad (Frazier 1976).

Frazier (1976) establece que el conservador ideal debe ser inofensivo para el consumidor, eficiente en su acción conservadora, no debe disminuir la calidad del alimento, ni proporcionarle color, olor o sabor desagradable. A la vez, es preferible que elimine por completo a los microorganismos en vez de inhibirlos, debe ser

efectivo contra los que crecen con mayor frecuencia en el alimento, no debe ser inactivado por el mismo.

Los conservadores pueden presentar cierta especificidad contra algunos microorganismos; por ejemplo, ser efectivos contra mohos o levaduras y no serlo o en menor grado contra bacterias, y a la inversa, pudiendo asimismo actuar contra grupos o especies definidas de bacterias u otros microorganismos (Frazier 1976).

Davidson *et al.* (2002), mencionan que antes de utilizar un producto como preservante es importante conocer las propiedades químicas y físicas tanto del compuesto químico, como del alimento. Lo anterior debido a que al conocer factores como la actividad de agua, solubilidad y pH se hace un uso más eficiente del antimicrobial. Segundo, las condiciones de almacenamiento deben permanecer similares durante el tiempo para lograr que el producto sea funcional. Es importante que el alimento tenga cualidades microbiológicas adecuadas antes de agregar el preservante para que éste contribuya con la vida útil del mismo; ningún producto será capaz de preservar un alimento que esté altamente contaminado. Los autores indican que los antimicrobiales son generalmente bacteriostáticos o fungistáticos, de modo que no logran preservar los alimentos indefinidamente. Finalmente, se debe conocer la toxicidad y regulaciones del producto a utilizar.

El ácido cítrico y el benzoato de sodio se encuentran dentro del grupo de los ácidos orgánicos. Según Davidson *et al.* (2002), muchos factores influyen en su efectividad como antimicrobiales; en especial su hidrofobicidad y el pH del alimento.

Cubero *et al.* (2002), mencionan que los ácidos orgánicos actúan a nivel de la membrana citoplasmática del microorganismo; la forma disociada del ácido penetra la membrana celular del organismo y una vez dentro, se disocia porque el interior de

la célula mantiene un pH mayor al del exterior y desarrolla su actividad generalmente a nivel enzimático.

2.6.3.2.1.Ácido Cítrico

El uso del ácido cítrico está limitado a alimentos con pH de 5.5 y éste no es generalmente utilizado como antimicrobial; sin embargo posee cierta actividad contra hongos y bacterias (Davidson *et al.* 2002).

Nickerson y Sinskey (sf), indican que normalmente no es posible añadir ácidos a los alimentos con el fin de disminuir el pH hasta niveles que no permitieran el crecimiento de los microorganismos, ya que los productos serían rechazados a causa de su sabor. Por ello, cuando se emplean ácidos lo que se hace es utilizar una combinación de este tratamiento con otros métodos de conservación.

El ácido cítrico se adiciona a varios alimentos (jarabes, bebidas, mermeladas y jaleas) a los que les proporciona la acidez adecuada y cuando se utiliza en combinación con procesos de calor o eliminación de parte del oxígeno, ayuda a evitar el crecimiento de microorganismos.

2.6.3.2.2.Benzoato de Sodio

Davidson *et al.* (2002) y Cubero *et al.* (2002), describen al benzoato de sodio como un compuesto estable, sin olor, cristalino o granular y soluble en agua (alrededor de 63% de solubilidad); cuyo uso principal es como agente antimicótico. Muchos hongos y levaduras son inhibidos a través del benzoato de sodio; sin embargo la levadura *Zygosaccharomyces bailii* es particularmente resistente a este producto.

Según Nickerson y Sinskey (sf) y Jay (1978), el uso de benzoatos para añadir en los alimentos para humanos está autorizado a una concentración máxima del 0.1% de su peso en Estados Unidos; no obstante, Davidson *et al.* (2002) indican que en muchos países el máximo permisible es de 0.15-0.25%.

El benzoato de sodio se emplea en numerosos productos alimenticios, donde junto con otros tratamientos como el calentamiento o la refrigeración, constituyen un importante factor en la estabilización microbiana del alimento. En general, este compuesto no es adecuado para conservar alimentos con un elevado contenido de humedad, a no ser que el producto se mantenga a bajas temperaturas.

Los benzoatos son mucho más efectivos en alimentos cuyo pH es de 2.5- 4.0; ya que su actividad está asociada a la parte de la molécula no disociada. Cubero *et al.* (2002), indican que dado que las concentraciones útiles de acción del benzoato varían según el pH del medio en que se utilicen, de esta forma debe aumentar también la concentración del producto para obtener el mismo resultado. De modo que, a pH de 2.3-2.4 se requieren concentraciones de 0.02-0.03% y a pH de 3.5-4.0 concentraciones de 0.06-0.1%.

Smittle y Erickson (2001) y Ötles (2005), agregan que el benzoato de sodio es comúnmente utilizado en productos dulces como mieles o jarabes con el fin de prevenir su deterioro; estos autores afirman que este compuesto no es eficaz si el pH es alto ya que su acción se ve limitada.

El benzoato de sodio y en general los benzoatos tienen un bajo perfil de toxicidad para los animales y humanos (Lueck 1980), la razón es que existe en el organismo un eficiente mecanismo de detoxificación para el benzoato (Davidson *et al.* 2002).

III.MATERIALES Y MÉTODOS

En busca de conocer la factibilidad de utilizar las mieles del desmucilaginado mecánico del café y su efecto en la alimentación animal y con el fin de lograr un aprovechamiento de un valioso subproducto del café, se realizó una prueba con ganado de carne, en la cual se evaluaban aspectos como: el consumo, ganancia de peso y adaptación al producto. A la vez, se realizó análisis a las mieles del café para conocer su composición química por dos métodos de secado: en horno y liofilizado. Se estudió la posibilidad de conservar el subproducto del café por medio de baja temperatura y mediante el uso de productos químicos, para éste último se realizaron análisis microbiológicos de bacterias, hongos y levaduras.

3.1. Descripción de la Zona de Estudio

3.1.1. Ubicación

Las mieles del café que se utilizaron en el presente estudio fueron brindadas por el Beneficio Coopetarrazú, localizado en la zona de Los Santos, en el distrito de San Marcos. El cantón de Tarrazú es descrito por Chinchilla (1987 citado por Barquero 1986) y está ubicado en las coordenadas geográficas medias 09° 36' 04" Latitud Norte y 84° 04' 00" Longitud Oeste. Tarrazú comprende un área de 237.23 Km².

El ensayo con animales se realizó en un corral de 72.2 m² de área ubicado en la finca propiedad del Sr. Rafael Umaña en San Marcos de Tarrazú; la cual está ubicada a 2 Km del beneficio Coopetarrazú. En la Figura 3 se observa el corral utilizado durante el tiempo experimental.



Figura 3. Corral utilizado durante el tiempo experimental en San Marcos de Tarrazú.

3.1.2. Condiciones Climatológicas

En cuanto al clima de la zona de Tarrazú, el ICAFE lo describe como una zona que se caracteriza por una época lluviosa de siete meses (mayo a noviembre) y seca (diciembre a abril) bien definidas. Con una precipitación promedio de 2.400 mm por año y una temperatura promedio anual de 19 °C.

3.1.3. Altura y Suelos

La producción cafetalera está ubicada entre los 1200 y 1900 metros sobre el nivel del mar, con suelos en su gran mayoría de origen sedimentario, que por sus componentes son ácidos.

3.1.4. Generalidades de la Zona

El ICAFE menciona que en la zona de Tarrazú, la caficultura es la actividad fundamental para el desarrollo socioeconómico de la región de Los Santos. Sus tierras producen alrededor de 780.000 fanegas de café en fruta por año, con características de maduración uniforme.

Producen café *arabica* con características de porte bajo, grano plano de color azulado, buena apariencia y estrictamente duro. Las principales variedades son Caturra y Catuaí, que producen un café con un grado muy suave de cafeína; característica muy preciada en los mercados más exigentes del mundo.

En la zona de Los Santos se cultivan alrededor de 22.000 hectáreas, compuestas por pequeñas fincas con un tamaño promedio de 2.5 hectáreas. La recolección comprende un periodo de cinco meses, de noviembre a marzo;

coincidiendo con la época seca, que permite una maduración uniforme y fruta de alta calidad.

3.2. Recolección de Muestras de Miel de Café

Las mieles del desmucilaginado mecánico del café pertenecientes a la variedad *Coffea arabica* de la cosecha 2007-2008, se recolectaron en el Beneficio Coopetarrazú directamente de la salida de las desmucilagadoras mecánicas Delbas, con capacidad de 25 litros de agua por fanega de café. Las mieles obtenidas eran del café de tercera línea de despulpe, que es el de mejor calidad. Las muestras se tomaron entre 5-6 p.m. debido a que a esa hora se realizaba el lavado del café y se almacenaron en refrigeración durante un día para ser llevadas al Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA), donde se realizó la mayoría de los análisis.

El café utilizado se cosechó en forma regular, se recibió por volumen y una vez en las tolvas, fue llevado a canoas que separan piedras e impurezas. Se clasificó por tres líneas de despulpado y el despulpe fue realizado mecánicamente sin agua. El café despulpado y clasificado se pasó a un desmucilaginador donde la operación de remoción del mucílago se realizó utilizando las delbas. El mucílago se almacenó en recipientes plásticos de aproximadamente 19 litros cada uno, con sus respectivas tapas y conforme se iba acabando la cosecha, en tanques con capacidades de 120 y 250 galones.

Todas las muestras que se utilizaron para los análisis químicos fueron refrigeradas para evitar su fermentación. Por otro lado, las muestras suministradas a los animales fueron al inicio del experimento frescas (recolectadas la noche anterior al día de suministro) y aproximadamente 21 días previos a la finalización de la

prueba se almacenaron en tanques con benzoato de sodio al 0.1% y se ofrecieron con este producto a los animales; este tiempo coincidía con el final de la cosecha del café.

Se recolectaron de dos a tres muestras en recipientes de un galón cada semana durante la época de realización de las pruebas con los animales para un total de 16 muestras y siete muestras previo al inicio del experimento, desde el inicio de la cosecha del café.

3.3. Análisis Experimental

3.3.1. Animales

Se compraron en subasta ganadera 16 animales enteros encastados a través del Beneficio Coopetarrazú con pesos promedios entre 319-323 Kg.

Los animales permanecieron un mes en el corral previo al inicio del experimento. Durante este tiempo se les desparasitó con Iverm Plus[®] (ivermectina) y se les aplicó las vacunas bacterina triple y la de ántrax, también se descornó a aquellos que era necesario para un mejor manejo de los mismos.

Se distribuyeron los animales de acuerdo a su peso en dos grupos al azar. Se dio una semana de adaptación a la dieta en la cual se les ofreció los materiales con que serían alimentados.

Una vez iniciado el experimento se realizaron pesas semanalmente hasta lograr un balance en el peso (debido a la adaptación) y posteriormente cada 15 días. Las pesas se realizaron con un promedio de 6 horas de ayuno y sin toma de agua.

La prueba con los animales se hizo durante 70 días (2 meses y una semana), debido a la escasez de las mieles del café por la estacionalidad del producto.

3.3.2. Dietas

Los animales se distribuyeron de forma aleatoria en dos tratamientos experimentales, uno correspondiente a las mieles del café y otro a la melaza de caña de azúcar. Lo anterior para comparar el aporte nutricional del subproducto del café con el aporte de la melaza de caña de azúcar.

Los animales correspondientes al tratamiento con melaza (T_1) se diferenciaron utilizando un collar blanco y los del tratamiento (T_2) de miel de café con collar rojo.

Para ambos tratamientos se le suministró a los animales cantidades iguales de heno Transvala (*Digitaria decumbens*) *ad libitum*, maíz amarillo, destilados de maíz, pecutrin® y sal blanca, como se muestra en los Cuadros 12 y 13. Las dietas fueron balanceadas isocalóricas e isoproteicas utilizando el programa Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) versión 5.0.4.0. La cantidad de alimento suministrada a cada animal correspondió al 2.4% del peso vivo en MS, por lo que éste se ajustó según los animales crecían. Además, se realizaron análisis al heno con el fin de conocer su calidad durante el periodo experimental.

Cuadro 12. Raciones suministradas al ganado de carne alimentado con miel de café durante el experimento.

Materiales	Porcentaje de inclusión en la dieta	
	Materia Seca (%)	Tal como ofrecido (%)
Heno Transvala	56.19	32.13
Maíz amarillo	21.16	11.68
Destilados de maíz	16.41	8.76
Pecutrin [®]	0.71	0.35
Sal blanca	0.72	0.35
Miel de café	4.81	46.73

Cuadro 13. Raciones suministradas al ganado de carne alimentado con melaza durante el experimento.

Materiales	Porcentaje de inclusión en la dieta	
	Materia Seca (%)	Tal como ofrecido (%)
Heno Transvala	56.39	57.17
Maíz amarillo	21.23	20.79
Destilados de maíz	16.46	15.59
Pecutrin [®]	0.71	0.62
Sal blanca	0.72	0.62
Melaza	4.49	5.20

3.3.3. Suministro de Alimento

El suministro de alimento se realizó dos veces al día, previa pesa de los materiales. La mitad de la ración se ofreció alrededor de las 7:00 a.m. y la otra mitad a las 3:00 p.m. Se utilizaron comederos independientes mediante el uso de cepos para asegurarse el consumo diario de la ración por cada animal de acuerdo con el tratamiento, cada animal permaneció en su respectivo cepo durante el tiempo necesario para consumir la ración que le correspondía. El acceso al agua fue sin restricciones durante todo el periodo experimental.

3.3.4. Diseño Experimental

Cada tratamiento constó de 7 animales o unidades experimentales, debido a que una semana después de comenzar el experimento uno de los animales falleció. Al iniciar el experimento se pesaron los animales y este peso inicial se utilizó como covariable en los análisis estadísticos de los resultados.

La significancia estadística de las fuentes de variación se determinó mediante una prueba t- student, considerando una significancia $P < 0.05$ y utilizando los programas del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System- SAS Institute Inc, North Carolina, USA). Lo anterior conforme al modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j X_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = observación referente a la ganancia de peso

μ = media generalizada, efecto común a todas las observaciones

T_i = efecto asociado al i-ésimo tratamiento

$\beta_j X_{ij}$ = efecto asociado al peso inicial j-ésimo

e_{ijk} = error experimental asociado a cada observación

3.4. Análisis Nutricional

3.4.1. Mieles de Desmucilaginado Mecánico de Café

Para estimar el contenido nutricional de las mieles del café, se determinó el contenido de MS por dos métodos: secado en horno y liofilizado. El primero se realizó colocando las mieles en bandejas de aluminio a secar en un horno a 60 °C durante 4-5 días, con el fin de extraer el agua superficial y no el contenido molecular de éstas. La Figura 4 muestra las mieles de café previo al secado y la Figura 5 una vez que se sacó del horno.



Figura 4. Mieles del café previo a secarse a 60°C.



Figura 5. Mieles de café secadas en horno a 60°C.

El proceso de liofilizado se realizó en el Laboratorio de Química del Centro de Investigaciones en Tecnología de Alimentos (CITA) a las mieles de café previamente centrifugadas (Figura 6), con el fin de concentrar aún más el producto. El centrifugado se realizó durante un tiempo no mayor a 10 minutos.



Figura 6. Miel de café centrifugada

Nickerson y Sinskey (sf), indican que la técnica de liofilización se lleva a cabo aplicando la mínima cantidad posible de calor para conseguir la sublimación, las muestras se almacenan al vacío y se utiliza una temperatura de conservación baja. En el proceso, después de la etapa de refrigeración, el alimento que se va a liofilizar se introduce en una cámara donde se aplica un vacío y se calienta el producto. Durante la liofilización, el calor sublima el agua congelada y el vapor de agua se arrastra y se fija en el condensador, consecuentemente dentro del alimento se forma un núcleo desecado, debido a la sublimación del hielo. La Figura 7 muestra las mieles de café posterior al proceso de liofilizado.



Figura 7. Miel de café liofilizada

La técnica de liofilizado se utiliza en la deshidratación de los alimentos, materiales biológicos y otros productos sensibles al calor. Este proceso permite dar un secado alternativo a las mieles de café que evita que se alteren propiedades químicas o biológicas del producto original.

Para ambos tipos de secado; en horno y liofilizado, se realizaron análisis en el Laboratorio de Química del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) a las muestras de: materia seca a 135°C (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y cenizas según la metodología descrita por la AOAC (2000). También se analizó la energía bruta de las muestras utilizando una bomba calorimétrica C-2000 (IKA-

WERKE®) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) siguiendo la metodología propuesta por Van Soest y Robertson (1979). Todos los análisis se realizaron por duplicado para cada muestra.

Además, se analizó el contenido de azúcares en el Laboratorio de Química del CITA mediante la metodología de HPLC columna econospha NH₂ (AQCITA-M006).

Se analizó el contenido de cafeína y taninos en dos muestras en el Laboratorio de Servicios a la Industria, la primera mediante el método de HPLC y los taninos por el método de la AOAC N° 95203 (1990).

A la vez, se analizó el pH y el contenido de sólidos totales y sólidos suspendidos totales en seis muestras del agua obtenida del centrifugado de las mieles de café en el Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA), por la metodología citada por Métodos de Análisis Químico Ambientales- MAQA (2005). También en el Laboratorio del Centro de Investigaciones en Café (CICAFE) se determinó el contenido de sólidos totales y sedimentables, DQO, DBO, cenizas y pH en dos muestras.

3.4.2. Heno

Para estimar el valor nutricional del heno consumido por los animales se tomaron seis muestras de las pacas a lo largo del experimento y se determinó el contenido de MS, PC, cenizas y DIVMS. Se analizaron en el Laboratorio de Bromatología del CINA las fracciones de la pared celular: lignina, fibra neutro detergente (FDN) y fibra ácido detergente (FDA), siguiendo la metodología descrita por Van Soest y Robertson (1985).

A muestras del heno Transvala (*Digitaria decumbens*) utilizado durante el experimento se le realizaron análisis con el fin de conocer la calidad del mismo y la variación a lo largo del experimento y de esta forma estimar su aporte sobre la dieta y su influencia en la ganancia de peso de los animales. Los resultados de los análisis realizados a las muestras de heno se muestran en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Contenido nutricional del heno de Transvala utilizado durante el periodo experimental

Componente	Promedio (%)*
Materia seca	85.5
Proteína cruda	4.1
Fibra detergente neutro	69.22
Fibra detergente ácido	43.37
Lignina	4.8
DIVMS	48.6
Cenizas	7.97

*Corresponde al promedio de un total de 6 muestras

Los análisis de FDN y FDA, respectivamente consisten en análisis químicos que se basan en el diferencial de solubilidad de los componentes del heno en soluciones detergente neutro y ácido.

El análisis de FDN es un indicador del consumo de alimento en términos de materia seca, de manera que conforme aumenta el consumo de alimento, disminuye el valor de FDN ya que el animal se llena y los valores de fibra que se consumen son de buena calidad. Este parámetro está directamente relacionado con el llenado físico del animal.

Por otro lado, el análisis de FDA es un indicador de la digestibilidad y por tanto del consumo de energía. Este valor está asociado con la cantidad de celulosa, lignina y cutina presente en el forraje; de esta forma, un heno de buena calidad debe presentar valores más altos de FDN y bajos de FDA.

La lignina es la sustancia de mayor participación en las paredes celulares secundarias de la planta. Según Esquivel (2002), la lignina es uno de los principales componentes de la pared celular que afecta negativamente la digestibilidad de la fibra, ya que impide el acceso de las enzimas que degradan la fibra, además de tener efectos tóxicos y acción hidrofóbica.

El proceso de lignificación en los polisacáridos de la pared hace que la celulosa no sea disponible para los microorganismos del rumen; por lo que valores muy altos de lignina en el heno indican carbohidratos que no estarán al acceso de las bacterias ruminales.

3.5. Análisis Microbiológico

La posibilidad de preservar las mieles del café se estudió evaluando primeramente la efectividad de dos productos químicos utilizados en la industria alimentaria como conservadores; el benzoato de sodio y el ácido cítrico. Se analizó la reacción de los productos en 6 muestras de las mieles del café (tres por producto). Las muestras se colocaron en botellas de vidrio oscuras con su respectiva tapa. Dos de las muestras, una con benzoato y la otra con ácido, se colocaron a la intemperie, dos a temperatura ambiente se dejaron en el laboratorio y dos se pusieron en la cámara fría a 0°C. Todas las muestras permanecieron de esta forma durante aproximadamente 21 días y se revisaron constantemente con el fin de conocer la reacción de las mieles en el transcurso del tiempo a ambos productos.

Para el análisis microbiológico de hongos, levaduras y bacterias se utilizó un total de 21 muestras, 12 pertenecientes a las mieles de café tal y como se obtienen del Beneficio y 9 centrifugadas. Para las primeras se evaluaron cuatro tratamientos, con tres repeticiones cada uno, 0% (T₁), 0.05% (T₂), 0.1% (T₃) y 0.15% (T₄) de inclusión de benzoato de sodio. Para las mieles de café centrifugadas se evaluaron tres tratamientos también con tres repeticiones cada uno, 0% (T₁), 0.05% (T₂), 0.1% (T₃) de benzoato de sodio.

Para cada tratamiento y repetición se realizaron análisis de bacterias, hongos y levaduras mediante el análisis microbiológico propuesto por Vanderzant y Splittstoesser (1992). Para el análisis de hongos y levaduras, se colocaron cinco diluciones (3, 4, 5, 6, 7) de la muestra en placas con agar papa dextrosa y se incubaron durante 5 días a temperatura ambiente. Por otro lado, para el análisis de bacterias se colocaron también cinco diluciones (3, 4, 5, 6, 7) de la muestra en placas con agar estándar y se incubaron durante 3 días a temperaturas de 25-30°C, para determinar las bacterias mesófilas. Tras esos días, se tomó lectura de la

presencia de unidades formadoras de colonias, para cada microorganismo estudiado (Arias *et al.* 2002).

Los materiales a utilizar durante la toma de muestras y la siembra en placas se esterilizaron previamente en autoclave, así como los medios de cultivo; ya que según Frazier (1976), los alimentos que contienen numerosos microorganismos y en especial los expuestos normalmente al aire libre y otras contaminaciones no requieren precauciones estrictamente asépticas; sin embargo todo el equipo utilizado en el proceso de análisis debe conservarse estéril hasta su uso.

3.5.1. Diseño Experimental para las Pruebas Microbiológicas

Para cada tratamiento se evaluó el contenido de hongos, levaduras y bacterias tomando muestras semanalmente durante un mes. A las muestras (tanto al centrifugado como las no centrifugadas) se les añadió el preservante benzoato de sodio desde la primer semana de inicio de la prueba, excepto al T₁ que era el control. Se evaluó por separado el desempeño de las mieles de café (no centrifugadas) y el centrifugado (intra-tratamiento) y a la vez, se analizó la respuesta entre tratamientos eliminando el T₄ existente únicamente en las no centrifugadas, con el fin de realizar comparaciones estadísticas.

La significancia estadística de las fuentes de variación se determinó mediante una prueba t- student, considerando una significancia $P < 0.05$ y utilizando los programas del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System- SAS Institute Inc, North Carolina, USA). Lo anterior conforme al modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + S_{ij} + (S \times T)_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = observación referente a la población microbial

μ = media generalizada, efecto común a todas las observaciones

T_i = efecto asociado al i-ésimo tratamiento

S_{ij} = efecto asociado a la j-ésima semana

$(S \times T)_{ijk}$ = efecto asociado a la interacción semana- tratamiento k-ésima

e_{ijkl} = error experimental asociado a cada observación

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se analizan y discuten los resultados obtenidos durante un año de estudio de las mieles de café. Primero se discute el posible impacto de las mieles de café sobre el ambiente. Posteriormente se muestra el valor nutricional de las mieles analizadas durante toda la cosecha 2007-2008. En tercer lugar se discute la respuesta a las metodologías de preservación utilizadas; así como los resultados microbiológicos obtenidos. Finalmente, la respuesta del ganado de carne al subproducto del café, sus efectos en la ganancia de peso y la adaptación de los animales al mismo.

4.1. Calidad de las Aguas Residuales y su Posible Impacto sobre el Ambiente

Se realizaron análisis a muestras del supernatante de la centrifugación de las mieles del café con el fin de conocer la carga contaminante de las mismas y de esta forma compararla con las mieles que se obtienen del desmucilaginado mecánico del grano de café en el beneficio. Lo anterior con el objeto de evaluar la posibilidad de que el supernatante pueda verterse responsablemente al ambiente.

En el Cuadro 15 se presentan los valores obtenidos para los análisis del líquido supernatante. El valor promedio de pH es de 3.98, con un mínimo de 3.84 y un máximo de 4.06. Este parámetro es de gran importancia en la calidad del agua debido a que según Alterno (1996) para que se lleve a cabo una adecuada degradación biológica del material disuelto en el agua, el pH óptimo debe estar entre 6 y 8. De forma que a valores tan bajos de pH como los obtenidos para las aguas separadas por medio del centrifugado, se esperaría una interrupción de los procesos biológicos llevados a cabo por las bacterias metanogénicas. De acuerdo con las

normas establecidas por el Ministerio de Salud las aguas de descarga deben tener un pH entre 5 y 9.

Cuadro 15. Parámetros de calidad de las aguas extraídas (supernatante) del centrifugado de las mieles de café

Parámetro	Valor Promedio*	Rango
pH a 20 °C	3.98	3.84 - 4.06
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	1121	340 - 2940
Sólidos totales (mg/L)	47.581	31.376 - 58.282
Sólidos sedimentables	NC	NC

NC: No cuantificables

* Corresponde al promedio de un total de seis muestras con dos repeticiones cada una, análisis realizados en el CICA y CICAPE.

A la vez, Dixon (1991) indica que el pH del mucílago varía de acuerdo con el grado de madurez y el método usado para el procesamiento del café. De forma que en el proceso manual del grano maduro el pH varía entre 5.6-5.7; mientras que en el proceso mecánico en el cual se utiliza agua con pH alrededor de 6.4 el subproducto del café resulta con valores de pH de 5.0-5.2.

Para el parámetro sólidos suspendidos totales el valor promedio obtenido fue de 1121 mg/L, con un rango de 340-2940 mg/L. Éste parámetro se relaciona con los sólidos en suspensión que se encuentran en el flujo de aguas y es un indicador del transporte de sedimentos.

El valor promedio obtenido para el parámetro sólidos totales es de 47581 mg/L, con un rango de 31376–58282 mg/L. Éste es un indicador de contaminantes inorgánicos en las aguas, de forma que la cantidad de sólidos totales aumenta proporcionalmente con concentraciones crecientes de iones.

Los valores de sólidos totales y suspendidos totales se asocian con la calidad del agua porque influyen en el sabor y se considera que con concentraciones mayores a 1200 mg/L el agua adquiere un sabor desagradable (Salguero 1996).

Esquivel y Canales (1993), agregan que el pH del agua potable varía entre 6.5-8.5, mientras que para los sólidos totales el valor es de 1000 mg/L, encontrándose que los valores aceptables de ambos parámetros son de 7.0 y 600 mg/L, para pH y sólidos totales, respectivamente. Los resultados anteriores indican que las aguas extraídas del centrifugado de las mieles de café son aún muy concentradas en cuanto a los parámetros que reflejan calidad de aguas. Debido a lo anterior el supernatante producto de la centrifugación de las mieles de café no debe ser descargado a fuentes de agua sin recibir previamente un tratamiento.

El parámetro sólidos sedimentables es no cuantificable en las muestras analizadas, ya que no fue posible separar sedimentos en las muestras debido a la alta viscosidad del material, de forma que se puede interpretar como ausencia de sedimentos (comunicación personal Lic. Albino Rodríguez, CICAPE).

No fue posible determinar los valores de DQO y DBO₅ debido a que los análisis de dichos parámetros deben realizarse con un tiempo máximo de 24 horas transcurrido desde la toma de la muestra, de lo contrario los valores pierden credibilidad pues aumenta la carga orgánica en las mieles de café (comunicación personal, Bach. Wilson Beita CICA).

Según el Lic. Albino Rodríguez (CICAFE) las aguas residuales crudas a la entrada del sistema de tratamiento de un beneficio típico con la tecnología actual y recirculación de aguas presenta valores de 10.000 mg/L de DQO y de 3000-5000 mg/L de DBO₅; mientras que los valores de DQO para el agua potable son de 10 mg/L (Esquivel y Canales 1993).

4.2. Valor Nutricional de las Mieles de Desmucilaginado Mecánico del Café

4.2.1. Materia Seca

En los Cuadros 16 y 17 se presenta el comportamiento del contenido de MS de las mieles de café analizadas, tanto en muestras secadas en horno a 60°C como liofilizadas. Los análisis de muestras liofilizadas se realizaron en mieles de café centrifugadas con el fin de estudiar la técnica como una posibilidad de conservación del subproducto mediante la eliminación parcial de su contenido de agua y de esta forma se tiene un material al que no se le ha variado el contenido nutricional. Lo anterior no permite comparar las muestras secas a 60°C y liofilizadas entre sí en su aporte de nutrientes; sin embargo se ofrecen ambas perspectivas de análisis. Además del aporte de la técnica de liofilizado que no altera las características físicas o químicas del producto original, ya que este método realiza únicamente una deshidratación del alimento a evaluar.

**Cuadro 16. Análisis nutricional de las mieles de café* secadas en horno a 60 °C
(% en base seca).**

Fracción Nutricional	Muestras secadas en horno ¹		
	Mín.	Prom.	Máx.
Materia Seca (%)	3.6	5.95	7.4
Proteína Cruda (%)	7.94	9.57	11.05
Extracto Etéreo (%)	0.09	0.85	1.92
Cenizas	4.0	4.5	5.2
Energía Bruta (Kcal/Kg)	3.551	3.769	3.881
Digestibilidad <i>in vitro</i> de la Materia Seca (%)	69.36	82.26	89.88

*Mieles de café tal como ofrecidas

¹Total de 23 muestras, los valores corresponden al promedio de dos repeticiones por muestra, análisis realizados en el CINA

Cuadro 17. Análisis nutricional de las mieles de café* liofilizadas (% en base seca).

Fracción Nutricional	Muestras liofilizadas ¹		
	Mín.	Prom.	Máy.
Materia Seca (%)	7.5	8.3	9.2
Proteína Cruda (%)	12.45	13.54	15.75
Extracto Etéreo (%)	0.72	1.92	3.03
Cenizas	3.7	4.2	4.6
Energía Bruta (Kcal/Kg)	3.336	3.965	4.424
Digestibilidad <i>in vitro</i> de la Materia Seca (%)	63.36	74.82	78.87

*Mieles de café centrifugadas

¹ Total de 10 muestras, los valores corresponden al promedio de dos repeticiones por muestra

El contenido de MS varió de 3.6 a 7.4% y el valor promedio fue de 5.95% para las muestras secadas en horno. Por otro lado los valores para las muestras liofilizadas oscilaron entre 7.5 y 9.2%, para un valor promedio de 8.3%. Los valores de éstas últimas son mayores en cuanto a materia seca (MS) debido a que las muestras fueron previamente centrifugadas, eliminando parte de la humedad y de esta forma se logró obtener un producto más concentrado.

Los valores de MS determinados son similares a los reportados por Bressani (1978b) y Calle (1977) citado por Garavito y Puerta (1998), quienes mencionan que el contenido de MS en el mucílago de café varía entre el 15 y 10%.

El conocer la humedad presente en las mieles de café permite determinar la cantidad de MS que consume el animal. Asimismo, al reducir el contenido de humedad se inhiben reacciones químicas, microbiológicas o enzimáticas que pueden interferir con los análisis de laboratorio. En el caso de las mieles de café evita principalmente la fermentación causada por levaduras.

Con base en los resultados obtenidos se puede decir que aunque las mieles del café tienen un contenido bajo de MS, son altamente palatables para el ganado en estado fresco o cuando éstas son conservadas adecuadamente. Según Garavito y Puerta (1998) cuando este producto es refrigerado a 4 °C y hasta por un período de 72 horas es muy palatable, y al complementarse con dietas de buena calidad y fuentes adecuadas de fibra; permite una adecuada digestibilidad y se promueve la utilización máxima de sus nutrientes.

Una de las principales desventajas que presenta el alto contenido de humedad de las mieles del café es que promueve un ambiente favorable para el desarrollo de microorganismos, como lo son bacterias, hongos y principalmente levaduras, convirtiéndose así en un foco de contaminación y con la consecuente pérdida de muchas de sus características nutritivas; por lo que la eliminación de las mismas se ha convertido en uno de los principales problemas a resolver por los beneficiadores de café.

Una característica que presentan las mieles de café es que debido a su contenido elevado de humedad y su composición nutritiva se descomponen rápidamente, y se lleva a cabo la fermentación. De forma que para tener un mayor aprovechamiento de este valioso subproducto es importante buscar opciones prácticas para el productor de manejo en el acarreo hasta la finca y almacenamiento con el fin de evitar su acelerado deterioro, y de no afectar la salud y el consumo de los animales.

4.2.2. Proteína Cruda

En los Cuadros 16 y 17 se presentan los valores obtenidos en el análisis de la PC. El contenido de proteína en las mieles de café se encuentra entre 7.94 y 11.05%, con un valor promedio de 9.57% para las mieles secadas en horno; mientras que para las muestras liofilizadas, el contenido varía entre 12.45 y 15.75% y un promedio de 13.54%. El análisis de las muestras liofilizadas refleja valores mayores debido a la mayor concentración del subproducto del café que se logra mediante el centrifugado del material en el laboratorio, con lo que se pretende simular un posible método para concentrar la MS de las aguas mieles del café a nivel de campo. Los niveles para ambos tipos de análisis realizados son altos al compararlos con los resultados obtenidos por Aguirre (1966) y Ríos e Isaza (1996) citados por Garavito y Puerta (1998) que reportan valores de 8.90% (base fresca) y 0.95%, respectivamente.

Las diferencias entre los valores obtenidos en esta investigación y los reportados por los autores mencionados pueden ser atribuidos a la variedad de café, la zona en que se recolecta, el clima, la época del año, el grado de madurez del grano, la etapa de la cosecha, la metodología de análisis y el proceso de extracción.

El análisis de PC indica la cantidad de nitrógeno contenida en las mieles de café y este valor se multiplica por un factor de 6.25. El análisis de proteína cruda tiene la limitante de que únicamente indica el nitrógeno y no permite distinguir si la proteína es de alto o bajo valor biológico.

4.2.3. Extracto Etéreo

El análisis de extracto etéreo solubiliza en éter la fracción de grasas, vitaminas liposolubles y fosfolípidos; dando un valor aproximado de la cantidad de grasa verdadera presente en el alimento. Este valor es importante dentro de la ración alimenticia porque la grasa es la fuente más concentrada de energía en los alimentos.

En los Cuadros 16 y 17 se presentan los valores de EE para las mieles de café, para las cuales se obtuvo un valor promedio de 0.85 y 1.92% para las muestras secadas en horno y liofilizadas, respectivamente. Además, los valores para las primeras se encuentran entre 0.09 y 1.92%, mientras que para las liofilizadas varían entre 0.72 y 3.03%. Al igual que en el caso de la proteína, los valores obtenidos en la presente investigación no concuerdan con los obtenidos por Ríos e Isaza (1996), citados por Garavito y Puerta (1998), que reportan valores de 0.08% de grasa para el mucílago de café.

4.2.4. Cenizas

El porcentaje de cenizas indica los componentes inorgánicos o material mineral presente en las mieles de café. En este análisis se mide el residuo de la combustión de la muestra al incinerar la materia orgánica durante cuatro horas. El contenido de cenizas representa la totalidad de los minerales presentes en la muestra, sin especificar el tipo de mineral ni su cantidad (Maynard *et al.* 1981).

La cantidad promedio de cenizas encontrada en las mieles del café para las muestras secadas en horno y liofilizadas respectivamente fue de 4.5 y 4.2% (Cuadros 16 y 17). Los rangos obtenidos en ese orden mínimo y máximo fueron de 4.0 y 5.2, 3.7 y 4.6%. Las muestras analizadas no presentaron grandes variaciones en el contenido de cenizas a lo largo de la época de cosecha, de manera que se puede asumir que el contenido de cenizas se comporta de forma constante a lo largo de la cosecha de café.

Mora (1981), Elías (1978) y De Cabrera *et al.* (1987) reportan valores de cenizas para el mucílago de café de 17%, mientras que Ríos e Isaza (1996), citados por Garavito y Puerta (1998) encontraron valores de 0.45% de cenizas. Estos valores no se asemejan a los obtenidos en la presente investigación probablemente las diferencias se pueden atribuir a las variaciones mencionadas anteriormente con respecto al tipo de café, análisis, entre otros.

4.2.5. Contenido Energético

Según Maynard *et al.* (1981), el valor energético es de los componentes nutritivos más limitantes de las dietas para animales; ya que es necesaria para el mantenimiento, producción, crecimiento y reproducción. Un alimento balanceado satisface los requerimientos del animal, mientras que deficiencias energéticas

producen retardos o fallas en el crecimiento, pérdida de peso, emaciación y eventualmente la muerte; los excesos en el contenido energético de las dietas aumentan el peso corporal afectando la producción y la reproducción.

El conocimiento de los valores energéticos presentes en las mieles del café es importante al balancear las raciones a suministrar a los bovinos; ya que se puede determinar con mayor precisión la cantidad necesaria para suplir los requerimientos energéticos de ganancia y mantenimiento de los animales.

Las mieles de café analizadas presentan valores de energía bruta promedio de 3769 y 3965 Kcal/Kg de materia seca y rangos de 3551 a 3881 Kcal/Kg y 3336 a 4424 Kcal/Kg para las muestras secadas en horno y liofilizadas, respectivamente (Cuadros 16 y 17). Estos valores están representados principalmente, según Puerta (1996) citado por Garavito y Puerta (1998), por el contenido de carbohidratos presente en el mucílago de café.

El contenido estimado mediante el programa de Cornell (CNCPS versión 5.0.4.0) de energía metabolizable para las mieles de café es de 3.08 Mcal/Kg MS y de energía neta de mantenimiento y ganancia son 2.10 y 1.43 Mcal/Kg MS, respectivamente. Mientras que los valores estimados para la melaza de la caña de azúcar de energía metabolizable, energía neta de mantenimiento y ganancia son de 2.73, 1.81 y 1.18 Mcal/Kg MS, respectivamente.

Los mayores contenidos energéticos presentes en las mieles de café con respecto a la melaza pueden explicarse por el alto contenido de cenizas de la melaza (13.3% MS) frente a 4.5% MS para las mieles de café, esto les permite a las últimas tener menor cantidad de nutrientes diluidos en el contenido mineral y de esta forma aportar mayores niveles energéticos (comunicación personal M Sc. Jorge Sánchez).

Según Sauviant *et al.* (2004), la melaza de caña posee un valor promedio de 2630 Kcal de energía bruta por Kg de MS, este valor es menor al encontrado para las mieles de café; sin embargo éstas últimas requieren de mayor cantidad al suplementarlas que la melaza de caña dado el contenido menor de la miel de café en términos de materia seca.

4.2.6. Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca

El conocimiento de la digestibilidad de los alimentos permite estimar su aprovechamiento; el análisis de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca consiste en la incubación de la miel de café utilizando licor ruminal durante 48 horas, seguida del tratamiento del residuo no digerido con solución detergente neutro. Los valores obtenidos de este método se consideran según Bochi-Brum *et al.* (1999), una estimación de la digestibilidad real de los alimentos. La determinación *in vivo* de la digestibilidad es un proceso que requiere de gran cantidad de alimento y condiciones óptimas de manejo en los animales, por lo que muchas veces se hace tedioso y debido a lo anterior se utilizan métodos *in vitro* para su estimación.

Rubio y Pineda (1974) reportan valores de DIVMS para la pulpa de café de 57.1%. El promedio de digestibilidad *in vitro* de la materia seca para las mieles de café analizadas posee un valor superior a este rango para ambos tipos de muestra, en horno y liofilizadas de 82.26 y 74.82% como se observa en los Cuadros 16 y 17. Los rangos se encuentran entre 69.36 y 89.88% y 63.36 y 78.87%, secadas en horno y liofilizadas respectivamente. Con los resultados obtenidos se puede decir que las mieles de café son más digestibles para los microorganismos ruminales (probado a nivel de laboratorio) que la pulpa de café usada en alimentación animal en años anteriores.

4.2.7. Factores Antinutricionales: Cafeína y Taninos

La literatura menciona que el mucílago de café no presenta factores antifisiológicos como los taninos y la cafeína o están en cantidades muy bajas en comparación con la pulpa de café. Para la pulpa de café se reportan valores de cafeína que van desde 0.51-4.5% y de taninos de 1.10-8.56%.

Con el fin de descartar la presencia de dichos componentes en las mieles de café se realizaron análisis de cafeína y taninos en tres muestras del subproducto de café fresco. Se obtuvo un valor promedio de 0.13% para cafeína y los resultados para taninos indican que estos compuestos no fueron detectables en las mieles de café. El análisis realizado para la extracción de taninos se hizo de forma cualitativa y cuantitativa por el método de la AOAC (N° 95203 1990) de forma que se puede descartar la presencia de estos compuestos polifenólicos en el subproducto del café (comunicación del personal del Laboratorio de Servicios a la Industria de la Escuela de Química).

La presencia de cafeína en las muestras de miel de café es un valor por debajo del rango reportado para la pulpa de café; sin embargo este resultado puede ser atribuido a la presencia de pequeños residuos de pulpa en las mieles que salen del beneficio, que pueden aportar cafeína al análisis. Por otro lado, Garavito y Puerta (1998) indican que en el mucílago de café no hay presencia de factores antifisiológicos, cafeína y taninos principalmente.

Para el grano de café verde de la variedad *arabica* los valores de cafeína varían entre 0.6-1.5% MS y para el grano de café tostado son de 0.9-1.2% MS (Raghavan y Ramalakshmi 1998). Según los mismos autores, la cafeína es un alcaloide cuyo efecto más conocido es servir de estimulante del sistema nervioso central, además tiene efecto sobre el sistema cardiovascular y puede producir leves

incrementos en la presión sanguínea y secreción gástrica. Los autores afirman que el café definitivamente no es letal para el sistema humano cuando se consume como bebida, a menos que una persona consuma 75 tazas (1 taza=150 mL) de café en un período de 30 minutos. A la vez, el Indian Coffee (2000) indica que la cafeína produce efectos transitorios y de corto tiempo en el sistema nervioso debido a que no se acumula en el organismo.

En los estudios realizados con pulpa de café en la alimentación de bovinos se determinó que niveles superiores de 0.12% de cafeína producen efectos negativos en los animales al verse afectado el crecimiento como respuesta a un menor consumo de alimento, lo anterior cuando consumían niveles de 20% de MS (Cabezas 1976 y Molina *et al.* 1990). Los autores observaron que dichos efectos se hacían más notorios a medida que aumentaba la concentración de cafeína en la pulpa de café. Los valores de dicho compuesto encontrados en las mieles de café se encuentran dentro del límite mencionado en la literatura, razón que puede explicar el que no se presentaran efectos nocivos evidentes en los animales.

Las aguas que se utilizan durante el procesamiento del café para el desprendimiento del mucílago son según Vásquez (1999), más fácilmente digeridas por bacterias anaerobias dado que en éstas existen menos taninos que en las que se utilizaban en el método convencional de beneficiado de despulpe.

Una de las ventajas que presentan las mieles del desmucilaginado mecánico del café es que no poseen taninos como se ha mencionado anteriormente, esto es de gran importancia ya que los alimentos que poseen estas sustancias en grandes proporciones son relativamente resistentes a la degradación en el rumen; debido a la acción de los taninos de ligar las proteínas y otras moléculas, de modo que muchos

nutrientes no son disponibles para ser digeridos por el animal (Madrigal 1987 y Orskov 1982).

4.2.8. Azúcares

Se realizaron análisis de azúcares a muestras de miel de café por el método de HPLC que indica no solo la presencia de azúcares; sino los tipos de carbohidratos presentes. Los resultados se muestran en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Contenido de azúcares presentes en las mieles del café (% de MS)

	Azúcares*		
	Sacarosa (%)	Glucosa (%)	Fructosa (%)
Máx.	2,9	19,1	15,1
Mín.	1,9	13,2	11,8

*Resultado promedio de dos repeticiones de dos muestras, análisis realizados en el CITA

Maynard *et al.* (1981) indican que la glucosa y la fructosa son monosacáridos y se obtienen por hidrólisis de constituyentes complejos. Los monosacáridos se conocen como azúcares simples y son solubles en el agua, con sabor dulce. La glucosa es la molécula básica para la síntesis del almidón y celulosa, es de importancia particular porque constituye la fuente principal de energía que se encuentra en la sangre circulante. Por otro lado, la fructosa es el carbohidrato más dulce; se encuentra junto con la glucosa y sacarosa en las frutas y la miel.

La sacarosa está integrada por la combinación de una molécula de glucosa y una molécula de fructosa; la sacarosa no es un azúcar reductor porque no tiene grupos aldehídos o cetonas libres por lo que forma parte de los oligosacáridos, cuando se hidroliza se divide en los dos monosacáridos que la integran: glucosa y fructosa (Maynard *et al.* 1981). Hall (sf), menciona que juntos la glucosa, fructosa y sacarosa son los carbohidratos de mayor peso molecular presentes en los forrajes; estos mismos fueron los que se hallaron en altas cantidades en las mieles de café.

Las mieles de café constituyen a nivel nutricional carbohidratos no estructurales ya que no forman parte de los componentes de la pared celular vegetal. Los carbohidratos incluidos entre los no estructurales o no fibrosos son los ácidos orgánicos, azúcares, oligosacáridos, almidón y sustancias pécticas (Hall sf). La autora menciona que las únicas uniones de carbohidratos que las enzimas digestivas del bovino son capaces de hidrolizar son los de la sacarosa y almidón, los otros carbohidratos que forman polímeros son indigestibles para las enzimas del mamífero, pero no para los microorganismos ruminales.

La glucosa, fructosa y sacarosa son digeridas directamente por los bovinos si alcanzan el intestino delgado, a la vez, debido a su composición química y alta solubilidad, los azúcares simples y los oligosacáridos son los carbohidratos más fácilmente fermentados. La fermentación de estos azúcares es similar a la de los almidones en el hecho de que ambos al fermentarse se transforman en ácido láctico. Asimismo, la fermentación de la sacarosa por los microorganismos ruminales resulta en concentraciones similares de proteína microbial, acetato y propionato que los que se producen con el almidón (Hall sf).

Por otro lado, Hall (sf) y Maynard *et al.* (1981) indican que en términos de la composición de azúcares, las sustancias pécticas contienen un esqueleto de ácido galacturónico, espaciadas con unidades de ramnosa y con cadenas a los lados de

azúcares neutros formados por arabinosa y galactosa. Debido a su composición de carbohidratos, las sustancias pécticas no son digestibles por las enzimas gastrointestinales; sin embargo, son rápida y extensivamente degradadas por los microorganismos ruminales.

La fermentación de las pectinas a nivel ruminal tiende a producir altas cantidades de acetato y propionato y relativamente poco o nada de lactato. Lo anterior es importante ya que las mieles o mucílago de café están formados principalmente por pectinas, las cuales cuando el pH ruminal es bajo o ácido (5.8) se ve reducida la fermentación; esto resulta en una menor tasa de degradación y se reduce la producción de proteína microbial a menos del 70%, también disminuye la cantidad de ácidos grasos volátiles disponibles para el animal. Los bovinos no son capaces de digerir las sustancias pécticas que se escapan del rumen (Hall *sf*). Mora (1981), Elías (1978) y De Cabrera *et al.* (1987) indican que el mucílago de café en promedio posee un 33% de sustancias pécticas en base seca.

Kroplien (1974) reporta valores de 0.26 y 0.16% MS para la glucosa y fructosa respectivamente en el café tostado, estos valores no concuerdan con los encontrados para las mieles de café, lo que a la vez evidencia la alta presencia de azúcares presentes en el mucílago de café como lo indican Garavito y Puerta (1998).

Finalmente, la digestión y/o fermentación de los carbohidratos provee al animal de aminoácidos provenientes de los microorganismos ruminales, ácidos grasos volátiles, lactato y glucosa, y en vista de que las diferentes fuentes de carbohidratos ofrecen variados perfiles de nutrientes al animal, vale la pena considerar las implicaciones nutricionales de los mismos en la alimentación animal (Hall *sf*).

4.3.Conservación de las Mieles de Desmucilaginado Mecánico del Café

A las mieles de café se les evaluó el contenido microbiológico principalmente con el fin de conocer la efectividad del producto químico benzoato de sodio para preservarlas. El benzoato de sodio es comúnmente utilizado por la industria alimentaria de consumo humano como preservante.

Se realizaron primeramente pruebas con dos productos: el benzoato de sodio y el ácido cítrico; sin embargo éste último no fue efectivo en la preservación de las mieles de café debido a que a una semana de iniciar la evaluación el subproducto de café presentaba un mal olor y un aspecto desagradable, con presencia de gran cantidad de hongos por lo que se descartó su uso.

Para valorar la capacidad preservante del benzoato de sodio en las mieles de café se evaluó la presencia de bacterias mesófilas, hongos y levaduras semanalmente durante un mes, mediante la siembra en placas de agar de cantidades iguales de miel de café, con diferentes concentraciones de benzoato de sodio (0.05, 0.1 y 0.15%) y utilizando una muestra sin el preservante, (como control).

Las mieles de café sufren fácilmente fermentación si se dejan durante más de 18 horas a temperatura ambiente e incluso con menor tiempo en condiciones de clima caliente. Esta fermentación provoca un rechazo por parte de los bovinos hacia el producto. A la vez, cuando el subproducto del café se almacena abierto puede sufrir contaminación por la presencia de agentes externos; que cuentan con condiciones ambientales y una fuente de nutrimentos favorables para su colonización y crecimiento.

En los análisis realizados se obtuvieron valores para los cuales se hacía necesario el análisis estadístico y así conocer el efecto significativo del tratamiento utilizado sobre el crecimiento de levaduras y bacterias, no así de hongos; ya que la presencia de éstos en todas las muestras sin existir diferencia alguna entre niveles de benzoato y el tipo de muestra; centrifugado o no, fue menor a 100 unidades formadoras de colonia por mL (UFC/mL). Al respecto Smittle y Erickson (2001), indican que los productos alimenticios como siropes o líquidos dulces usados en la industria alimentaria para el consumo de las personas poseen en su mayoría valores <100 UFC de hongos/gramo. Debido a lo anterior se tomó la decisión de hacer análisis estadísticos únicamente para levaduras y bacterias y no para hongos, además estos organismos suelen presentarse principalmente por efecto ambiental.

4.3.1. Análisis Microbiológico de Levaduras

Las levaduras pueden crecer en un amplio rango de pH que va desde 2-9 (Beuchat y Cousin 2001); sin embargo, una vez que estos microorganismos han logrado establecerse y si no ocurren variaciones fuertes de pH, son capaces de alterar el pH inicial del sustrato, utilizando como fuente de energía los ácidos orgánicos del alimento o los excretados por bacterias que pueden aparecer durante todo el periodo de deterioro del alimento, por uno más favorable para su crecimiento; normalmente entre 4 y 6.5.

Las mieles de café utilizadas durante el periodo experimental presentaron valores promedios de pH de 3.0-3.1.

Frazier (1976), indica que las levaduras comúnmente encontradas en los alimentos crecen mejor en medios en los que se dispone de gran cantidad de agua y los azúcares son las mejores fuentes energéticas para el crecimiento de las mismas.

Es por esto que las mieles de café constituyen una fuente rica en nutrientes para el desarrollo de levaduras, que son también en la mayoría de los casos las responsables de la fermentación de muchos productos alimenticios.

Se realizó un análisis estadístico para valorar la eficiencia del centrifugado y las mieles no centrifugadas sobre la reducción de la población de levaduras y bacterias, comparando entre tratamientos. El análisis se realizó mediante la prueba Duncan y el mismo indica que no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las muestras centrifugadas y no centrifugadas.

También se hizo un análisis estadístico intra-tratamientos, en el cual las mieles de café centrifugadas mostraron un efecto significativo para la interacción semana-tratamiento ($P = 0.0255$) sobre la incidencia de las levaduras. No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para las mieles centrifugadas. El Cuadro 19 muestra los valores de levaduras obtenidos para las mieles de café centrifugadas.

Cuadro 19. Rangos obtenidos de levaduras para las mieles de café centrifugadas (UFC).

Semana	Levaduras			
	1	2	3	4
T1: Control	1.0 x 10 ⁶ - 3.0 x 10 ⁶	3.0 x 10 ⁷ – 4.1 x 10 ⁸	6.7 x 10 ⁵ - 1.5 x 10 ⁶	4.0 x 10 ⁶ - 1.9 x 10 ⁸
T2: con 0.05% benzoato de sodio	1.4 x 10 ⁵ - 2.5 x 10 ⁶	2.8 x 10 ⁴ – 4.0 x 10 ⁶	4.5 x 10 ⁵ - 2.0 x 10 ⁷	6.0 x 10 ⁴ - 4.0 x 10 ⁶
T3: con 0.1% benzoato de sodio	1.1 x 10 ³ – 4.4 x 10 ³	<100	2.3 x 10 ⁷ - 2.0 x 10 ⁸	1.0 x 10 ⁴ - 6.8 x 10 ⁶

T: tratamiento

Análisis realizados en el CINA

En el caso de las mieles de café no centrifugadas las variables tratamiento y semana fueron altamente significativa ($P=0.0002$) y significativa ($P=.0083$) respectivamente, por lo que las levaduras fueron influenciadas tanto por la cantidad de benzoato de sodio presente en la muestra, como por el transcurso del tiempo (Cuadro 20). Asimismo, la interacción semana-tratamiento fue significativa ($P=0.0027$).

Cuadro 20. Rangos obtenidos de levaduras para las mieles de café no centrifugadas (UFC).

Semana	Levaduras			
	1	2	3	4
T1: Control	1.8 x 10 ⁶ - 2.9 x 10 ⁶	9.0 x 10 ⁵ – 1.1 x 10 ⁷	7.2 x 10 ⁶ - 2.7 x 10 ⁷	3.0 x 10 ⁷ - 1.2 x 10 ⁸
T2: con 0.05% benzoato de sodio	<100 - 2.4 x 10 ⁴	1.5 x 10 ⁵ – 6.2 x 10 ⁶	9.0 x 10 ³ - 1.7 x 10 ⁶	6.7 x 10 ⁴ - 1.8 x 10 ⁷
T3: con 0.1% benzoato de sodio	<100 – 1.6 x 10 ³	<100 - 5.5x 10 ⁵	<100 - 7.2x 10 ⁴	6.0 x 10 ³ - 1.1 x 10 ⁶
T4: con 0.15% benzoato de sodio	<100	<100 – 1.5 x 10 ⁶	<100 - 3.0 x 10 ³	<100 – 1.0 x 10 ³

Se encontró también que el efecto de regresión lineal y cuadrático para las mieles no centrifugadas fue significativo para el control ($P=0.0034$), no así para los demás tratamientos. Lo anterior indica que conforme transcurría el tiempo a lo largo del experimento las levaduras en el tratamiento sin el preservante químico (control) aumentaron exponencialmente, mientras que en los otros tratamientos ocurrió un crecimiento al inicio del experimento y posteriormente éste logró estabilizarse. Lo anterior podría explicarse por el deterioro de las mieles de café del grupo control y al tener las levaduras fuentes de alimento en las muestras se presentó un mayor crecimiento y proliferación de las mismas, además de una posibilidad de mejoría en su adaptación al medio y pH.

Los rangos de levaduras encontrados en las muestras por semana transcurrida evidencian un control del preservante sobre el crecimiento de dichos organismos presentándose mejores resultados en la tercer y cuarta semana.

4.3.2. Análisis Microbiológico de Bacterias

Las bacterias se multiplican mejor en condiciones de pH 7.0 o ligeramente alcalinos; sin embargo existen especies bacterianas capaces de proliferar en concentraciones de pH tan bajas como 3.0 (Nickerson y Sinskey sf).

El análisis estadístico para las mieles de café centrifugadas mostró un efecto no significativo para las variables analizadas: tratamiento, semana e interacción semana-tratamiento. En el Cuadro 21 se observan los rangos obtenidos para bacterias, para las cuales se presentó gran variación entre las muestras.

Cuadro 21. Rangos obtenidos de bacterias para las mieles de café centrifugadas (UFC).

Semana	Bacterias			
	1	2	3	4
T1: Control	$7.3 \times 10^6 - 1.4 \times 10^7$	$8.5 \times 10^4 - 2.5 \times 10^9$	$6.2 \times 10^6 - 1.0 \times 10^7$	$4.2 \times 10^7 - 1.3 \times 10^8$
T2: con 0.05% benzoato de sodio	$3.3 \times 10^6 - 2.6 \times 10^7$	$8.0 \times 10^5 - 2.3 \times 10^7$	$1.7 \times 10^7 - 1.8 \times 10^7$	$4.7 \times 10^6 - 1.0 \times 10^7$
T3: con 0.1% benzoato de sodio	$2.8 \times 10^6 - 4.1 \times 10^6$	$7.8 \times 10^4 - 2.0 \times 10^6$	$1.2 \times 10^8 - 1.9 \times 10^8$	$3.6 \times 10^6 - 2.1 \times 10^7$

La interacción semana-tratamiento mostró un efecto significativo únicamente para el T_3 ($P=0.0063$) sobre el crecimiento bacterial en las mieles de café no centrifugadas, obteniéndose mejor control con una dosis de 0.1% de benzoato de sodio. Los rangos de bacterias encontrados en las muestras por tratamiento se observan en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Rangos obtenidos de bacterias para las mieles de café no centrifugadas (UFC).

Semana	Bacterias			
	1	2	3	4
T1: Control	1.1 x 10 ⁶ - 7.8 x 10 ⁶	1.7 x 10 ⁶ – 1.9 x 10 ⁶	2.9 x 10 ⁶ - 4.4 x 10 ⁷	1.4 x 10 ⁷ - 2.5 x 10 ⁷
T2: con 0.05% benzoato de sodio	1.2 x 10 ⁶ - 4.1 x 10 ⁶	8.5 x 10 ⁵ – 1.3 x 10 ⁷	2.5 x 10 ⁶ - 2.4 x 10 ⁸	1.1 x 10 ⁷ - 4.0 x 10 ⁷
T3: con 0.1% benzoato de sodio	6.4 x 10 ⁵ – 3.4 x 10 ⁶	5.1 x 10 ⁵ - 7.8 x 10 ⁶	9.7 x 10 ⁶ - 2.1 x 10 ⁷	1.5 x 10 ⁷ - 1.7 x 10 ⁸
T4: con 0.15% benzoato de sodio	2.5 x 10 ⁵ – 1.5 x 10 ⁶	1.1 x 10 ⁵ – 9.4 x 10 ⁷	8.6 x 10 ⁴ - 1.8 x 10 ⁶	5.0 x 10 ⁴ – 4.5 x 10 ⁵

En general para las muestras de los tratamientos analizados, con el benzoato de sodio se obtuvieron mejores resultados para las mieles de café no centrifugadas, frente a las centrifugadas. A la vez, el benzoato de sodio fue más efectivo para el control de hongos y levaduras que para las bacterias; esto concuerda con lo mencionado por Davidson *et al.* (2002) y Cubero *et al.* (2002), quienes indican que la principal acción de este preservante es como agente antimicótico, inhibiendo gran cantidad de hongos y levaduras. A la vez, Swanson *et al.* (2001) indican que las sustancias inhibidoras añadidas a las muestras son las responsables de una disminución en la formación de colonias.

La presencia de microorganismos en los alimentos no significa necesariamente un peligro para el consumidor o una calidad inferior de los mismos; ya que en realidad si se exceptúa el reducido número de productos esterilizados, cada bocado de alimento contiene levaduras inocuas, mohos, bacterias y otros microorganismos (Moreno *et al.* 1985). En el momento en que la descomposición puede ser detectada por el olor, sabor o aspecto, la mayoría de los alimentos contienen más de 10^6 microorganismos por gramo. Algunos alimentos pueden ya ser inaceptables cuando contienen 10^7 bacterias por gramo, pero un número reducido de ellos se consumen aún cuando la población bacteriana alcanza los 10^8 /gramo. Los recuentos encontrados en las muestras para bacterias en ambos tipos de muestras, se encuentran en estos rangos de aceptación y como menciona el autor, al ser las mieles de café un producto crudo, éstas pueden estar constituidas por una microflora normal, que no necesariamente representa un peligro para el consumidor.

Además, Moreno *et al.* (1985) indican que el recuento de la flora aerobia mesófila tiene un valor limitado en determinados alimentos, como aquellos que sufren fermentación paralela con el alimento; ya que en estos casos un recuento elevado de microorganismos no permite diferenciarse generalmente de la microflora propia o normal del alimento. Lo anterior podría explicar los recuentos elevados de

UFC de levaduras como de bacterias en las muestras de mieles de café, que también están expuestas durante el proceso de beneficiado a los microorganismos del ambiente.

Al respecto, la FAO (CAC/GL 21-1997) define que los límites microbiológicos para un alimento se deben establecer tomando en cuenta los riesgos relacionados con los microorganismos; así como las condiciones en las que se prevé que el alimento será manipulado y consumido.

Con los resultados obtenidos del análisis microbiológico es posible decir que el producto químico benzoato de sodio, utilizado en la industria alimentaria tiene un alto potencial de uso en las mieles de café como preservante de este subproducto durante al menos un mes, si el mismo se mantiene en condiciones aisladas de la contaminación ambiental; bien cerrado y no expuesto a los microorganismos del ambiente. Considerando que el subproducto del café es altamente fermentable, lo anterior brinda la posibilidad de aprovechamiento de las mieles de café no solo a nivel del beneficio sino para los productores en las fincas.

A la vez, el almacenamiento a bajas temperaturas (0-1°C) de las mieles de café permitió preservarlas durante un tiempo prolongado de 3 meses sin que se produjeran alteraciones en el olor o fermentación. Éstas permanecieron en la cámara fría cerradas y se abrían cada cierto tiempo para evaluar la evolución de un posible efecto de fermentación.

4.4.Respuesta del Ganado de Carne en Crecimiento

Al ganado utilizado durante el tiempo experimental se le suministró una dieta cuya energía era aportada parcialmente por la melaza o miel de café; según el tratamiento. Ambas dietas se formularon de forma que fueran isoproteicas e isoenergéticas, por lo que la cantidad utilizada a lo largo del experimento de miel de café y melaza de caña fue de un máximo de 5% de la M.S.

Miranda (1972), Ruíz (1983), Félix (1968), Garza (1960), Hernández (1968) y Calendario (1955), concuerdan en que los mejores resultados; en ganado de carne y leche, de ganancia de peso y palatabilidad han sido obtenidos cuando la melaza de caña sustituye entre un 20-25% de los carbohidratos del concentrado. Además, afirman que el mejor aprovechamiento de la melaza depende también de la concentración de la proteína en la ración.

En el Cuadro 23 se presentan los pesos semanales alcanzados por los animales así como la ganancia diaria durante los 70 días de experimento. Se encontró un efecto altamente significativo del peso inicial para ambos tratamientos ($P < 0.0001$), que para el grupo de melaza era en promedio de 318.5 Kg y para el de miel de café de 319 Kg.

Cuadro 23. Peso promedio en Kg obtenido durante el periodo experimental y ganancia de peso promedio diaria del ganado de carne alimentado con melaza de caña de azúcar y miel de café

Tratamiento*	Días							Ganancia de peso diaria durante 70 días
	0	13	20	31	45	56	70	
								Kg
Miel de café	319.0	325.0	319.7	344.3	364.9	365.0	380.2	0.76
Melaza de caña de azúcar	318.5	331.7	327.9	342.7	369.0	375.6	382.3	0.81

*Los pesos corresponden al promedio de 7 animales por tratamiento, para un total de 14 animales usados en el periodo experimental

Para ambos tratamientos se observaron pérdidas de peso durante las primeras dos semanas, lo cual podría estar asociado al periodo de acostumbramiento tanto de los animales del grupo de miel de café a este subproducto, como al ambiente y al consumo individual mediante el uso de cepos. Después de la tercera semana de experimento se observó un aumento progresivo en las ganancias de peso de los animales.

A partir de los 45 días del experimento se retó a los animales incrementando la cantidad de alimento suministrado debido al aumento de peso de los mismos y al incremento en los requerimientos nutricionales. La cantidad suministrada fue de 10 Kg de miel de café por día y esto influyó sobre la ganancia de los animales ocasionando pérdidas de peso. Lo anterior se consideró como una necesidad de adaptación de los animales a la nueva ración, por lo que se volvió a suministrar a ambos grupos de animales la ración inicial.

El promedio de peso final del ganado que se alimentó con miel de café fue de 345 Kg, mientras que para el tratamiento con melaza fue de 350 Kg, obteniéndose los mayores promedios de peso cuando la dieta incluía 8 Kg/d de miel de café. Probablemente al aumentar a 10 Kg/d de miel a partir del día 45 se requería de una nueva adaptación de los animales al subproducto del café, debido al volumen que tenían que ingerir por tiempo de comida.

Según los resultados obtenidos, al ganado hay que proporcionarle cantidades crecientes de miel de café para propiciar un proceso de adaptación que gradualmente les capacite para ingerir y utilizar cantidades cada vez más altas de este material. En las condiciones que prevalecieron en este estudio, se llegó a dicho nivel cuando los animales ingirieron 8.0 Kg (5% de la MS de la ración) por día de mieles de café. En los estudios de Garavito y Puerta (1998) y de Buitagro *et al.* (1970), se utilizaron niveles de 20 y 30% de inclusión de mucílago de café y melaza de café respectivamente y con estos porcentajes de inclusión obtuvieron las mayores ganancias de peso, ambos estudios realizados con cerdos. No obstante, para el estudio de Buitagro *et al.* (1970), se utilizó una “melaza de café” que se obtuvo mediante la concentración de los azúcares del mucílago y de la pulpa del grano de café, lo anterior permitió mayores niveles de inclusión del subproducto al tener menor cantidad de agua.

En la Figura 8 se observa la ganancia de peso de los bovinos durante todo el periodo experimental. Se destaca que durante las primeras semanas de suministro de las dietas el grupo que consumía miel de café presentó pérdidas de peso de 0.27 Kg/d a los 13 días de inicio del experimento y de 0.76 Kg a los 20 días. No obstante, el grupo de melaza también presentó pérdidas de peso de 0.55 Kg/día a los 20 días de experimento.

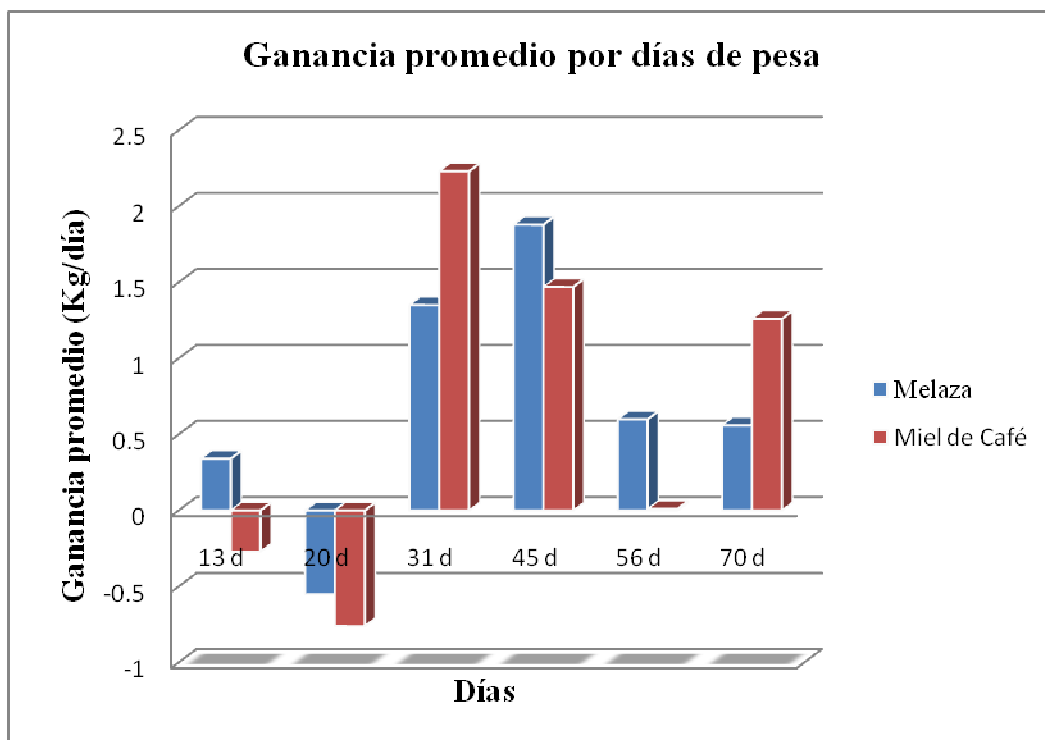


Figura 8. Ganancia de peso promedio del ganado de carne alimentado con miel de café y melaza de caña de azúcar.

Los animales requirieron adaptación al subproducto del café y al consumo individual mediante el uso de cepos, como se mencionó anteriormente. Sin embargo, otros factores pudieron influir en la fluctuación del peso experimentado por el ganado, como lo fueron la permanencia durante la mayor parte del día en el corral con piso de cemento que causó que a lo largo del experimento la mayoría de los animales presentaran renqueras. Asimismo, el clima de la zona que durante la noche alcanza temperaturas bajas que afecta especialmente a los animales cebuinos.

En general, se observó una tendencia de ganancia de peso mayor en ambos tratamientos posterior a los 20 días y previo a los 45 días del experimento, en comparación con los primeros días del mismo. Durante este periodo el grupo de miel

de café presentó una ganancia promedio de 2.23 y 1.47 Kg/día a los 31 y 45 días respectivamente; mientras que para el grupo de melaza fueron de 1.35 y 1.88 Kg/día. Estos resultados demuestran que después de lograr el proceso de adaptación al subproducto del café, los animales expresan un mejor aprovechamiento del alimento. A la vez, indican el aporte de las mieles de café a la ganancia de peso de los animales ya que al balancear las dietas con el programa CNCPS se consideraron ganancias de peso promedio de 1.58-1.61 Kg/anim/día, rango alcanzado por ambos grupos de animales durante el período en que se consideró que los mismos se habían adaptado a la ración y al ambiente.

Los animales se alimentaron con las mieles de café recolectadas la noche anterior al día de suministro y en un principio se mezclaba dicho subproducto con las otras materias primas de la ración; sin embargo esto fue una limitante ya que hacía que el alimento se fermentara al poco tiempo de mezclarse y era rechazado por los animales. Es por esto, que se les suministró primeramente la miel de café sola y después el resto de materiales. La Figura 9 muestra al ganado en cepo, consumiendo miel de café.



Figura 9. Bovino consumiendo miel de café

Al ganado se le suministró miel de café fresca, con menos de 18 horas de almacenamiento a temperatura ambiente, y tuvo buena aceptación debido a que no presentaba características ni olor de un producto fermentado. Esto coincidió con los resultados obtenidos por Garavito y Puerta (1998) en los cuales los cerdos presentaron mayor aceptación y mejores ganancias de peso y conversión alimenticia con mucílago de café fresco frente al producto fermentado.

Es importante al utilizar las mieles de café como suplemento en la ración animal, suministrar a los bovinos fuentes de fibra efectiva con un buen balance de la dieta a ofrecer, que les permita mantener un rumen sano con el cual el animal pueda hacer un uso adecuado de las mieles de café y no se presenten variaciones de pH que puedan afectar la salud de rumen. A su vez, el suministro de las mieles de café debe fraccionarse en varias comidas al día, como mínimo dos veces con el fin de no impactar gravemente el ambiente ruminal.

Garavito y Puerta (1998), mencionan que el mucílago de café es un producto dulce al paladar, lo que explica el grado de aceptación por el ganado, que muestra afinidad por productos dulces como el caso de la melaza de caña.

Se observó que la materia fecal de los animales alimentados con miel de café no presentó diferencias en cuanto a consistencia con respecto a las heces de los animales alimentados con melaza. Tampoco se produjo efecto laxante por el consumo de las mieles de café.

El ganado alimentado con miel de café no presentó el efecto causado por el consumo de pulpa de café y descrito por Cabezas *et al.* (1978), Bressani y Elías (1976), Cabezas (1976), Vargas *et al.* (1977a,b), Bressani (1978a), Cabezas (1974), Campbell *et al.* (1976), Estrada (1974) y Vargas (1974), que consistía en la tendencia

a orinar con mayor frecuencia y cantidad. Lo anterior se puede explicar por el hecho de que el mucílago de café no presenta o presenta cantidades pequeñas de cafeína y/o taninos, por lo que se asume que la excreción de nitrógeno en orina fue similar en ambos grupos experimentales.

El tratamiento de miel de café produjo aumentos de peso y ganancias promedio finales menores que los de la dieta control (melaza de caña); sin embargo, mediante el análisis estadístico se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que para la utilización de las mieles del café o melaza de caña de azúcar en la dieta se obtienen ganancias de peso similares. La Figura 10 muestra animales de ambos tratamientos, los animales no presentaron ningún efecto nocivo causado por las dietas.



Figura 10. Bovinos representativos de los tratamientos de melaza de caña y miel de café.

El alto contenido de agua que presentan las mieles de café, es la principal limitante de este producto para compararlo con materiales utilizados para la alimentación de bovinos, como la melaza de caña. En el Cuadro 24 se observa la composición nutricional de este material. Lo anterior debido a que se requiere suministrar mayores volúmenes de mieles de café para aportar una cantidad determinada de energía equivalente al de la melaza de caña de azúcar.

Cuadro 24. Composición nutricional de la melaza de caña de azúcar

Fracción Nutricional	NRC (2001)	Sauvant <i>et al.</i> (2004)
Materia Seca (%)	74.3	73.7
Proteína Cruda (%)	5.8	4.0
Extracto Etéreo (%)	0.2	1.1
Cenizas	13.3	10.3
Energía Bruta (Kcal/kg)	-	2630

Durante el tiempo de experimentación en que se almacenó cierta cantidad de mieles de café y se les añadió el benzoato de sodio como preservante, los bovinos lo consumieron sin que se presentaran problemas de rechazo o cambios físicos o de salud evidentes en los animales.

Finalmente, mediante esta investigación fue posible conocer el alto potencial de uso que tiene un subproducto de la agricultura como lo son las mieles producto del desmucilaginado mecánico del café, como fuente de energía para bovinos de carne, dando a las mismas una posibilidad de aprovechamiento y de esta forma abandonar la idea de que este subproducto del café es una fuente de contaminación ambiental.

El uso de las mieles de café en la alimentación de bovinos y de cerdos (este último reportado en la literatura) ha dado resultados alentadores que ante la panorámica mundial de crisis alimentaria, el uso de la caña de azúcar para la producción de biocombustibles, el precio elevado de materias primas a incluir en las raciones animales y por ende elevados costos de producción, ofrece la oportunidad de aprovechar un subproducto de la agricultura de importante valor nutricional.

El café se produce en Costa Rica tanto en zonas altas y de climas fríos como en zonas bajas y cálidas, el tiempo de cosecha es variable de acuerdo a la zona y considerando la gran cantidad de beneficios del país y el grado de industrialización del grano, el uso de las mieles de café para la alimentación animal se presenta como una oportunidad de aprovechar lo que era considerado como un simple desecho y/o contaminante ambiental.

V.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.Calidad de las Aguas Supernatantes Obtenidas Después de Haber Sometido las Mieles de Café a un Proceso de Centrifugado

Los valores promedio obtenidos en el supernatante del centrifugado de las mieles de café para pH, sólidos totales y suspendidos totales son de 3.98, 47581 mg/L y 1121 mg/L, respectivamente. El parámetro sólidos sedimentables no fue cuantificable en las muestras y se puede interpretar como ausencia de sedimentos. Lo anterior se estudió con el fin de conocer la alternativa de uso para estas aguas si en el Beneficio de Café se decidiera implementar la técnica de centrifugado para obtener un producto más rico en materia seca y así alimentar a los bovinos con las mieles de café. No obstante, el Ministerio de Salud establece que las aguas de descarga deben tener un pH entre 5 y 9, por lo que estas aguas no califican para ser vertidas sin tratamiento previo a los ríos.

Se recomienda estudiar la posibilidad de uso de las mismas como agua de bebida para el ganado o cerdos, o como posible biofertilizante. A la vez, se sugiere realizar análisis de calidad a las mieles provenientes del desmucilaginado mecánico del café en mayor cantidad de muestras con el fin de caracterizarlas con detalle.

5.2.Valor Nutricional de las Mieles de Café

5.2.1.Contenido de Materia Seca

El contenido de materia seca de las mieles de café se evaluó con el método convencional de secado en horno a 60°C y por medio de la técnica de liofilizado. Para las primeras se obtuvo un valor promedio de alrededor de 6% y para las segundas de 8.3%.

Las muestras se liofilizaron con el fin de conocer la factibilidad de utilizar las mieles de café centrifugadas, después de haberse extraído cerca del 70% de agua de las mismas, lo anterior se presenta como una alternativa para concentrar el subproducto y de esta forma no tener que suministrar altos volúmenes para alcanzar el equivalente de energía que aporta la melaza. Se recomienda realizar más experimentos en que se suministre a los animales mieles de café concentradas (una posibilidad es el centrifugado), con el fin de analizar la factibilidad económica de implementar la técnica en los beneficios a nivel industrial.

Al analizar la humedad presente en las mieles de café fue posible determinar la cantidad de materia seca real para suministrar a los animales, a la vez al reducir el agua presente se inhiben reacciones químicas, microbiológicas o enzimáticas que afectan la calidad del producto.

Las mieles de café al tener un alto contenido de humedad y por su composición nutritiva se descomponen rápidamente y se lleva a cabo la fermentación. Se recomienda con el fin de tener un mayor aprovechamiento de este subproducto implementar alguna de las opciones planteadas en esta investigación (almacenamiento en frío, centrifugado, uso de benzoato de sodio), que sea

económica y acorde con las capacidades del beneficio y de facilidad para el productor.

5.2.2. Proteína Cruda, Extracto Etéreo y Cenizas

De los análisis realizados a las mieles de café se obtuvo valores promedio de 9.6 y 13.5% de PC, 0.85 y 1.92% EE y 4.5 y 4.2% de cenizas para las muestras secadas en horno y liofilizadas, respectivamente. Los valores obtenidos no coinciden con los reportados en la literatura para el mucílago de café que reportan valores más bajos, esto puede atribuirse a las diferentes variedades de café, la zona de recolección, el clima, la época del año, grado de madurez del grano y etapa de la cosecha así como de la técnica de beneficiado de café en sí.

Se recomienda suplementar las mieles de café con materias primas que provean las cantidades proteicas y de fibra efectiva que ayuden a complementar el aporte nutricional del subproducto del café, con el fin de suplir los requerimientos nutricionales del animal.

5.2.3. Contenido Energético de las Mieles de Café

Las mieles de café analizadas presentan valores de energía bruta promedio de 3769 y 3965 Kcal/Kg para las muestras secadas en horno y liofilizadas, respectivamente. Estos valores son mayores al contenido energético de la melaza de caña que posee un valor promedio de 2630 Kcal/Kg de energía bruta. Se recomienda concentrar las mieles de café a suministrar, de lo contrario aumentar paulatinamente la cantidad del subproducto tal como se obtiene en el beneficio; de forma que no exista rechazo por los animales y que puedan tener un periodo de

acostumbramiento que los capacite en el consumo y utilización del subproducto de café.

El contenido de energía estimado mediante el programa de Cornell (CNCPS versión 5.0.4.0) de energía metabolizable para las mieles de café es de 3.08 Mcal/Kg MS y de energía neta de mantenimiento y ganancia son 2.10 y 1.43 Mcal/Kg MS, respectivamente. Estos valores son mayores a los estimados para la melaza de caña lo cual puede ser atribuido a la menor presencia de cenizas de las mieles de café (4.5) con respecto a la melaza (13.3).

5.2.4. Análisis de Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca

El promedio de digestibilidad *in vitro* de la materia seca para las mieles de café analizadas en horno y liofilizadas es de 82.26 y 74.82%. Estos valores son mayores a los reportados en la literatura para la pulpa de café, lo que indica que las mieles de café aportan materia seca más digestible y libre de compuestos antinutricionales como la cafeína y taninos.

5.2.5. Cafeína, Taninos y Azúcares

De los resultados de las mieles de café para cafeína y taninos se obtuvo un valor promedio de 0.13% para cafeína y no se detectaron taninos en este subproducto, esto concuerda con lo reportado en la literatura para el mucílago de café, al que se le atribuye la ventaja de carecer de la presencia de factores antifisiológicos que producen alteraciones en los animales. Los valores reportados en la literatura indican que a niveles superiores a 0.12% de cafeína se producen efectos negativos en los animales, dichos efectos son más severos cuando la cantidad de cafeína tiende a incrementarse. Sin embargo, en esta investigación no se presentaron alteraciones físicas evidentes en los bovinos. Si en futuras

investigaciones se utilizan cantidades mayores de materia seca proveniente de las mieles de café, se recomienda evaluar la presencia así como el posible efecto de la cafeína en los animales.

La presencia de pequeñas cantidades de cafeína en las muestras de miel de café pueden ser atribuidas a pequeños residuos de pulpa que se encuentran en las mieles que salen del beneficio, que pueden interferir en los análisis; sin embargo, en la experimentación con los animales no causó efectos nocivos. Se recomienda valorar la posibilidad de eliminar esos residuos de pulpa durante el beneficiado del café mediante el uso de tamices más gruesos.

Una de las principales ventajas que presentan las mieles del café es que no tienen taninos. Esto es de gran importancia ya que los alimentos que poseen estas sustancias en grandes proporciones son relativamente resistentes a la degradación en el rumen, de modo que muchos nutrientes no son disponibles para ser digeridos por el animal.

Los azúcares encontrados en las mieles de café fueron principalmente glucosa, fructosa y sacarosa. Los primeros son digeridos directamente por los bovinos si alcanzan el intestino delgado, a la vez, debido a su composición química y alta solubilidad, los azúcares simples y los oligosacáridos son los carbohidratos más fácilmente fermentados en el rumen. La fermentación de la sacarosa por los microorganismos ruminales resulta en concentraciones similares de proteína microbial, acetato y propionato que los que se producen con la digestión del almidón.

Las sustancias pécticas no son digestibles por las enzimas gastrointestinales; sin embargo, son rápida y extensivamente degradadas por los microorganismos ruminales y la fermentación de estas sustancias a nivel ruminal produce altas cantidades de acetato y propionato, principalmente.

5.3.Conservación

5.3.1.Levaduras

El crecimiento de levaduras en las mieles de café se explica por constituir éstas medios ricos de nutrientes, en especial agua y azúcares que son las mejores fuentes para el crecimiento de las mismas, además de contar con un pH adecuado para su desarrollo.

Para las mieles de café centrifugadas se encontró un efecto significativo ($P=0.0255$) para la interacción semana-tratamiento sobre el crecimiento de las levaduras y no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Lo que indica que conforme avanzaban las semanas de evaluación del benzoato de sodio sobre el crecimiento de levaduras, el preservante químico logró un control o estabilización sobre el desarrollo de dichos organismos.

Por otro lado, mediante el análisis estadístico realizado para las mieles no centrifugadas se determinó que las variables tratamiento y semana fueron altamente significativo ($P=0.0002$) para el primero y significativo ($P=.0083$) para el segundo. Asimismo, la interacción semana-tratamiento fue significativa ($P=0.0027$).

Se encontró también que el efecto de regresión lineal y cuadrático fue significativo para el control ($P=0.0034$), no así para los demás tratamientos. Lo anterior indica que conforme transcurrió el tiempo a lo largo del experimento las

levaduras en el tratamiento sin el preservante químico aumentaron exponencialmente, mientras que en los otros tratamientos ocurrió un crecimiento al inicio del experimento y posteriormente logró controlarse y estabilizarse.

Las levaduras fueron influenciadas por la cantidad de benzoato de sodio presente en la muestra y por el transcurso del tiempo. De forma que el benzoato de sodio constituye un preservante útil durante al menos un mes (periodo que duró el experimento microbiológico), para actuar sobre dichos organismos en las mieles de café. Se recomienda la utilización del benzoato de sodio a niveles de inclusión de 0.1%, ya que no se presentaron diferencias significativas que evidenciaran que a niveles de 0.15% se obtuviera mayor control. Esto a la vez permite un mejor aprovechamiento económico del producto químico y se cumple con la normativa de la industria de alimentos para alimentación humana que establece en Estados Unidos la inclusión máxima de 0.1% de dicho producto. Se recomienda también realizar análisis microbiológicos durante un periodo mayor con el fin de conocer si la cantidad de microorganismos se estabilizan a lo largo del tiempo.

5.3.2.Bacterias

El análisis estadístico para las mieles de café centrifugadas no mostró un efecto significativo para las variables analizadas: tratamiento, semana e interacción semana-tratamiento sobre el crecimiento bacteriano en las muestras.

Para las mieles de café no centrifugadas se encontró un efecto significativo de la interacción semana-tratamiento para el T_3 ($P=0.0063$) sobre el desarrollo de bacterias; obteniéndose mejor control con una dosis de 0.1% de benzoato de sodio.

En general para las muestras y tratamientos analizados, con el benzoato de sodio se obtuvieron mejores resultados para las mieles de café no centrifugadas, frente a las centrifugadas. A la vez, el benzoato de sodio fue más efectivo para el control de hongos y levaduras que para las bacterias; por lo que se recomienda utilizar un preservante que sea selectivo para el control de bacterias.

Los resultados obtenidos demuestran que las cantidades de bacterias presentes en las mieles de café son aún aceptables en productos no industrializados como lo son las mieles del desmucilaginado del café y no representan un riesgo a la salud de los animales; a la vez es posible que muchos de estos microorganismos sean ambientales y no propios del subproducto del café, por lo que mediante un apropiado almacenamiento de las mieles de café en el que este subproducto no se encuentre expuesto al ambiente se puede lograr un adecuado control microbial.

Se recomienda realizar mediante estudios microbiológicos una caracterización de los microorganismos presentes en las mieles de café, y conocer las especies que colonizan frecuentemente con el fin de utilizar productos aún más selectivos y específicos.

Durante el periodo en que los animales consumieron mieles de café con 0.1% de benzoato de sodio no se presentaron cambios físicos perceptibles, pérdidas de peso o alguna circunstancia diferente a su comportamiento normal.

5.4.Respuesta del Ganado de Carne en crecimiento al Consumo de las Mielles de Café

Al ganado de carne utilizado durante el periodo experimental se le suministró una dieta isoproteica e isoenergética, en la cual los únicos productos que se variaron fueron el suministro de mieles de café para un grupo y melaza en el otro, constituyendo este último el grupo control.

Para los tratamientos miel de café y melaza se presentaron pérdidas de peso durante las primeras semanas de experimentación, asociadas principalmente al acostumbramiento de los animales al consumo del subproducto del café y a la alimentación individual en cepos así como el ambiente. Una vez que se observaron aumentos semanales en el peso de los animales se les incrementó el suministro de miel de café y melaza, el primero de 8 a 10 Kg/anim/día. Lo anterior influyó de forma negativa en los animales, haciendo que se presentaran pérdidas de peso.

Los promedios de peso obtenidos al final del periodo experimental fueron de 345 y 350 Kg para los tratamientos miel de café y melaza, respectivamente. Las mejores ganancias de peso para el tratamiento experimental se obtuvieron con el suministro de 8 Kg/día de miel de café. Se recomienda el suministro a los bovinos de un nivel mínimo del subproducto del café para propiciar un proceso de adaptación que los capacite gradualmente a incrementarlo en la dieta y que sea mejor aprovechado, lo anterior se puede realizar evaluando las ganancias de peso durante un tiempo mayor a 70 días.

Las mieles de café se deben suministrar preferiblemente frescas, con un tiempo no mayor a 18 horas desde que se recolectan para evitar el rechazo por parte de los animales.

Los animales pertenecientes al tratamiento de miel de café no evidenciaron diferencias físicas o de salud perceptibles con respecto al grupo de melaza de caña, tampoco se presentaron cambios en la solidez de las heces, efecto laxante o la tendencia a orinar constantemente como ocurría al suministrar pulpa de café al ganado. Lo anterior sugiere que las mieles de café no contienen factores antinutricionales.

Mediante el análisis estadístico se determinó que no existen diferencias significativas ($P < 0.05$) para la utilización de melaza o miel de café como materia prima a incluir en las dietas del ganado de carne; sin embargo, el elevado contenido de agua presente en las mieles de café hace necesario suministrar mayores cantidades de las mismas para lograr un aporte equivalente de energía al que aporta la melaza.

Se recomienda suministrar las mieles de café con una dieta balanceada y fuente adecuada de fibra efectiva, así como el fraccionamiento en el suministro del subproducto del café como mínimo dos veces al día. Lo anterior con el fin de propiciar un buen ambiente y no causar alteraciones en el pH ruminal.

A la vez, se recomienda desarrollar alternativas tecnológicas para concentrar las mieles de café y realizar experimentos en que el aporte del subproducto a la ración sea mayor.

Mediante esta investigación fue posible conocer el alto potencial de uso que tiene un subproducto de la agricultura como lo son las mieles del desmucilaginado mecánico del café, como fuente de alimentación de bovinos de carne, dando a las mismas una posibilidad de aprovechamiento y de esta forma abandonar la idea de este subproducto del café como un contaminante ambiental.

Las mieles de café permiten al productor disponer de un subproducto con importante aporte en el requerimiento energético de los animales, ante la tendencia actual de utilizar la caña de azúcar como fuente para la producción de biocombustibles, la crisis mundial de alimentos y la consecuente carencia de materias primas a incluir en las dietas para animales.

LITERATURA CITADA

- ALFARO E., FONSECA H., BOSCHINI C. 1974. Incorporación de pulpa de café deshidratada en la preparación de concentrados para vacas lecheras en producción. Primera reunión internacional sobre la utilización de subproductos del café en la alimentación animal y otras aplicaciones agrícolas e industriales. CATIE, IICA, CODESA, OFICAFE. p.31.
- ALFARO M., RODRÍGUEZ J. 1994. Impacto ambiental del procesamiento del café en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 18 (2): 217-225.
- ALFARO Q. 1996. Análisis de las etapas y procesos del beneficiado de café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Tesis de grado Lic. en Ingeniería Agrícola. p. 6-11.
- ALTERNO U. 1996. Adaptación y selección de una mezcla de microorganismos para el tratamiento biológico de mieles concentradas de café. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Tesis de Grado Lic en Ingeniería Química. p. 3-9, 44-53.
- AGUIRRE F. 1966. La utilización industrial del grano de café y de sus subproductos. Investigaciones tecnológicas del ICAITI. No. 1 ICAITI, Guatemala. sp.
- AMORIM H., SILVA O. 1968. Relationship between the polyfenol oxidase activity of coffee beans and the quality of the beverage. *Nature*, New York. No. 5149-5154 (219): 381-382.
- ANANDA R., RAMAIAH P. 1986. By-products of coffee berries and their posible utilisation. *Indian Coffee*. June, Vol. L (6): 3-8.
- ANSONG G. 2004. Analysis of plant polyphenols by high performance liquid chromatography/mass spectrometry and protein binding. University of Miami. Department of Chemist and Biochemist. Tesis de Grado M. Sci. Oxford, Ohio. p. 1-4.
- ARIAS M., CHAVES C., ANTILLÓN F., VILLALOBOS L. 2002. Microbiología de aguas y alimentos. Manual de Laboratorio. Facultad de Microbiología. Universidad de Costa Rica. p. 11-20.

- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). 1990. Official methods of analysis. 15 ed. Washington, D.C.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS (AOAC). 2000. Official methods of analysis. 16 ed. Washington, D.C.
- BARBOSA R., SILVA P., REGAZZI. A. 2002. Composição química de seis categorias da bebida café previamente classificada pelo teste da xícara. R. Bras. Armaz (4): 45-51.
- BARQUERO J. 1986. Factibilidad del tratamiento anaerobio de aguas de beneficio de café para el control de la contaminación y producción de energía. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Tesis de Grado Lic en Ingeniería Química. p. 4-21.
- BARTLEY E., IBBETSON R., CHYABA L., DAYTON A. 1978. Coffee grounds 2: effects of coffee grounds on performance of milking dairy cows and feedlot cattle, and on rumen fermentation and dry matter removal rate. J. Anim. Sci. 47:791-799.
- BEUCHAT L., COUSIN M. 2001. Yeasts and molds. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 4th Edition. Frances Pouch Downes American Public Health Association. p. 209-215.
- BOCHI-BRUM O., CARRO M., VALDÉS C., GONZÁLEZ S., LÓPEZ S. 1999. Digestibilidad in vitro de forrajes y concentrados: efecto de la ración de los animales donantes de líquido ruminal. Archivos Zootecnia. 48: 51-61.
- BOLAÑOS DE F. 1998. Dos opciones para el aprovechamiento de los desechos del desmucilaginado mecánico del café. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias. Proyecto de Graduación Lic en Química. p. 4-47.
- BOLAÑOS M., HERNÁNDEZ C., ROJAS T. 1987. Agroindustria. Editorial Universidad Estatal a Distancia - EUNED. San José, Costa Rica. p. 79-92.
- BRESSANI R. 1974. Composición química de los subproductos del café. Primera Reunión Internacional sobre la utilización de subproductos de café en la alimentación animal y otras aplicaciones agrícolas e industriales. CATIE, IICA, CODESA, OFICAFE. p. 13-14.

- BRESSANI R. 1978a. Factores antifisiológicos en la pulpa de café. Pulpa de Café: composición, tecnología y utilización. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. INCAP. p.143-151.
- BRESSANI R. 1978b. Posibles usos de los subproductos del grano de café. Pulpa de Café: composición, tecnología y utilización. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. INCAP. p. 31-43.
- BRESSANI R. 1978c. Subproductos del fruto de café. Pulpa de Café: composición, tecnología y utilización. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. INCAP. p. 9-16.
- BRESSANI R., ESTRADA E., ELÍAS L., JARQUÍN R., URRUTIA DE V. 1973. Pulpa y pergamino de café IV. Efecto de la pulpa de café deshidratada en la dieta de ratas y pollos. Turrialba 23 (4): 403-409.
- BRESSANI R., ESTRADA E., JARQUÍN R. 1972. Pulpa y pergamino de café I. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. Turrialba 22 (3): 299-304.
- BRESSANI R. ELÍAS L. 1976. Utilización de desechos de café en alimentación de animales y materia prima industrial. Utilización de la pulpa de café en la alimentación de bovinos. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá - INCAP. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria - CENTA. Dirección General de Ganadería - DGG. p. 1-13.
- BITAGRO J., CALLE H., GALLO T., CORZO A. 1970. Evaluación de la melaza de café en dietas para cerdos en crecimiento y acabado. Rev. ICA. Vol. V (4): 407-410.
- CABEZAS M. 1974. Utilización de la pulpa de café en alimentación de ganado de carne. Primera Reunión Internacional sobre la utilización de subproductos del café en la alimentación animal y otras aplicaciones agrícolas e industriales. CATIE, IICA, CODESA, OFICAFE. p. 23-25.
- CABEZAS M. 1976. Valor nutritivo de la pulpa de café para ganado de carne. Utilización de la pulpa de café en la alimentación de bovinos. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá - INCAP. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria - CENTA. Dirección General de Ganadería - DGG. p. 1-13.

- CABEZAS M., FLORES A., EGAÑA J. 1978. Uso de pulpa de café en alimentación de rumiantes. Pulpa de café: composición, tecnología y utilización. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá - INCAP. p. 45-67.
- CALZOLARI C., COASSINI L. 1967. Effect of decaffeination on the coffee components. Association Scientifique Internationale du Café. 3rd Internacional Colloquium of the Chemistry of Coffees. p. 240-246.
- CALENDARIO C. 1955. Melaza de caña de azúcar en la alimentación de bovinos de leche y carne. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. p. 79.
- CAMPABADAL C. 1987. Utilización de la pulpa de café en la alimentación de animales. Utilización integral de los subproductos del café. Memorias del III Simposio Internacional Guatemala. p. 37-44.
- CAMPBELL T., BARTLEY E., BECHTLE R. 1976. Coffee grounds I. Effects of coffee grounds on ration digestibility and diuresis in cattle, on in vitro rumen fermentation, and on rat growth. J. Dairy Science 59 (8): 1452-1460.
- CASTILLO V. 1993. Beneficiado de café impacto de los desechos líquidos y su solución. San José, Costa Rica. Ingeniería 3 (3): 91-97.
- CHESSON A., STEWART C., WALLACE R. 1982. Influence of plant phenolic acids on growth and cellulolytic activity of rumen bacteria. Applied and Environmental Microbiology. 44 (3): 597-603.
- CLÉVES S. 1975. Justificación de un proyecto para investigar la obtención de pectina a partir del mucílago del café. Departamento de Estudios Técnicos y Diversificación. Oficina del Café. San José, Costa Rica. p. 4-17.
- CLÉVES S. 1976. Tratamiento de las aguas residuales y productos de desecho del beneficiado de café. Posibilidad de utilización de los mismos como valiosos subproductos. Departamento de Estudios Técnicos y Diversificación. Oficina del Café. p. 3-11.

- CLIFFORD M., STANIFORTH P. 1977. A critical comparison of six spectrophotometric methods for measuring chlorogenic acids in green coffee beans. Association Scientifique Internationale du Café. 8th International Scientific Colloquium on Coffee. p. 109-113.
- CLIFFORD M., WILLSON K. 1985. Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. Croom Helm, Australia. p. 308-343.
- CODY P., SMITH K. 1987. Applied statistics and the SAS programming language. 2nd edition. North Holland. p. 92-106.
- CORELLA E. 1978. Tratamiento de los desechos de la industrialización del café. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Tesis de Grado Lic en Ingeniería Química. p. 3-6.
- CUBERO N., MONFERRER A., VILLALTA J. 2002. Aditivos alimentarios. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 54-62.
- DAVIDSON P., JUNEJA V., BRANEN J. 2002. Antimicrobial agents: Food Aditives. 2^{da} Edición. Marcel Dekker Inc. p. 1-58.
- DE CABRERA S., CALZADA J., GIL L., DE ARRIOLA M. 1987. Etanol de cerezas y mucílago de café. Utilización integral de los subproductos del café. Memorias del III Simposio Internacional Guatemala. p. 129-130.
- DERGAL B. 1993. Química de los alimentos. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. 3^{ra} ed. Person. p. 104-109.
- DINA S., HERRERA H. 2005. Desarrollo de un método de análisis para la cuantificación de ácidos clorogénicos en café. Agronomía Costarricense 29 (2): 99-107.
- DIRECCIÓN GENERAL DE ADUANAS Y PROMOTORA DE COMERCIO EXTERIOR DE COSTA RICA, COMEX. Cifras preliminares para el periodo 2001-2007 del Banco Central de Costa Rica. sp.

- DIXON B. 1991. Estudio de prefactibilidad para la obtención de la pectina de los desechos en el beneficio del café. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Proyecto de Graduación Lic en Ingeniería Química. p. 41-71.
- DUICELA G., CORRAL C., PALMA P., ANCHUNDIA F., FISCHERWORRING H. 2003. Reciclaje de los subproductos de la finca cafetalera. Tecnologías para la producción de café arábigo orgánico: avances de la investigación. p. 9.
- ELÍAS L. 1978. Composición química de la pulpa de café y otros subproductos. Pulpa de Café: composición, tecnología y utilización. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. INCAP. p. 19-29.
- ESQUIVEL G. 2002. Evaluación del valor nutricional y calidad microbiológica de los granos cervancieros húmedos utilizados en la alimentación del ganado lechero en Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Tesis presentada para optar por el grado de Lic. en Zootecnia. p. 94.
- ESQUIVEL H. 1998. Alcances del Artículo 132 de la Ley de Conservación de la Vida Silvestre en relación con las aguas residuales del beneficiado de café. Universidad de Costa Rica. Facultad de Derecho. Tesis presentada para optar por el grado de Lic. en Derecho. p. 1-3.
- ESQUIVEL L., CANALES V. 1993. Sistematización funcional del diseño de un dispositivo para la separación de sólidos en suspensión en aguas mieles de café. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Tesis de Grado Lic en Ingeniería Mecánica. p. 23-55.
- ESTRADA E. 1974. Cambios bioquímicos en el plasma sanguíneo de bovinos y porcinos alimentados con pulpa de café. Primera reunión internacional sobre la utilización de subproductos del café en la alimentación animal y otras aplicaciones agrícolas e industriales. CATIE, IICA, CODESA, OFICAFE. p. 26-27.
- FAO. CAC/GL 21-1997. Principios para el establecimiento y la aplicación de criterios microbiológicos a los alimentos. p. 1-5.
- FAO. 2008. Situación Alimentaria en América Latina y el Caribe. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Observatorio Regional de Seguridad Alimentaria y Nutrición. Mayo- Junio. p. 1-6.

- FÉLIX A. 1968. Efectos de la melaza de la ración sobre la producción de vacas lecheras en el trópico. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. p. 6-35.
- FERRARO S. 1995. Método de autobiografía de capa de agar para la detección de actividad antifúngica en extractos de especies vegetales. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias. Tesis de grado Lic en Química. p. 5-15.
- FERREIRA A., AGUIAR P., OLALQUIAGA J., BRUNO V., MACIEL R. 2001. Fatores antinutricionais da casca e da polpa desidratada de café (*Coffea arabica* L.) armazenadas em diferentes períodos. Rev. Bras. Zootec. 30 (4): 1325-1331.
- FLEMING H., MCFEETERS R., BREIDT F. 2001. Fermented and acidified vegetables. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 4th Edition. Frances Pouch Downes American Public Health Association. sp.
- FRAZIER W. 1976. Microbiología de los alimentos. 2^{da} Edición. Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España. p. 15-493.
- FREUND J., LITTELL C. 1981. SAS for linear models. A guide to the ANOVA and GLM procedures. SAS Series in Statistical Applications. SAS Institute Inc. p. 47-84.
- GARAVITO R., PUERTA Q. 1998. Utilización del mucílago de café en la alimentación de cerdos. Cenicafé 49 (3): 231-256.
- GARZA R. 1960. Efectos de diferentes niveles de melaza en la ceba de novillos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. 50 p.
- GONZÁLEZ DE C., RAMÍREZ M., ALDANA J., CLIFFORD N. 1994. Analysis of proanthocyanidins in coffee pulp. J. Sci. Food Agric. 65 (2): 157-162.
- HALL M. sf. Making nutritional sense of nonstructural carbohydrates. University of Florida, Gainesville. Disponible en: <http://www.animal.ufl.edu/hall/MkSnsNSC.htm>.
- HERNÁNDEZ N. 1968. Efectos de la melaza sobre el consumo y digestibilidad de raciones balanceadas para bovinos en el trópico. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. p. 4-10.

- HERNÁNDEZ P. 1978. Curso de Caficultura. FEDECOCAGUA. Federación de Cooperativas Agrícolas de Productores de Café de Guatemala R.L. Mazatenango, Guatemala. p. 18,22.
- INDIAN COFFEE. 2000. Caffeine, physiological effects of caffeine and decaffeination. April, Vol. LXIV. No 4: 13-15.
- JAFFE W., ORTIZ D. 1952. Notas sobre el valor alimenticio de la pulpa de café. Agro. (Venezuela). 7 (23): 31-37.
- JARQUÍN R. 1987. Alimentación de animales con pulpa de café. Utilización integral de los subproductos del café. Memorias del III Simposio Internacional Guatemala. p. 45-53.
- JARQUÍN R. 1978. Pulpa de café en la alimentación de cerdos. Pulpa de café: composición, tecnología y utilización. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. INCAP. p. 69-87.
- JARQUÍN R., ROSALES F., GONZÁLEZ J., BRAHAM E., BRESSANI R. 1974. Pulpa y pergamino de café IX. Uso de la pulpa de café en la alimentación de cerdos en la fase de crecimiento y acabado. Turrialba 24 (4): 353-359.
- JARQUÍN R., BRESSANI R. 1977. Evaluación nutricional en cerdos de la pulpa de café sometida a varios procesos de almacenamiento. Turrialba 27 (4): 385-391.
- JAY M. 1978. Microbiología moderna de los alimentos. Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España. p. 167-170, 215-227.
- JUNG H., FAHEY G., GARST J. 1983. Simple phenolic monomers of forage and effects of in vitro fermentation on cell wall phenolics. J. Anim. Sci. 57 (5): 1294-1305.
- KIRK R., SAWYER R., EGAN H. 1996. Composición y análisis de los alimentos de Pearson. Segunda edición. México. p. 398-400.
- KROPLIEN U. 1974. Monosaccharides in roasted and instant coffees. J. Agric. Food Chem. 22 (1): 110-116.

- LÓPEZ G., PÉREZ J., KLEINN C. 2001. SAS: aplicaciones en el campo agropecuario y de los recursos naturales. CATIE. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Sub-unidad de estadística. Versión 1.1. p. 87-90.
- LUECK E. 1980. Antimicrobial food additives: characteristics, uses, effects. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 210-214.
- MADRIGAL J. 1987. Efecto de la metionina y colina en la detoxificación de los taninos presentes en la pulpa de café. Universidad Nacional. p. 2-47.
- MAGALHAES M., RODRIGUES M., PAES C., STRINGHETA P., DA SILVA A. 2002. Efeito do tipo de torra sobre o teor de compostos fenólicos e a cor dos grãos de café. R. Bras. Armaz. (5): 55-59.
- MARÍN C. 1985. Efecto del NaSO_4 y CaSO_4 en la detoxificación de los taninos presentes en la pulpa de café. Universidad Nacional. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Tesis de Grado Lic en Ingeniería Agronómica. Heredia, Costa Rica. p. 12-47.
- MATHER R., APGAR W. 1956. Dried extracted coffee meal as a feed for dairy cattle. J. Dairy Sci. 39 (7): 938 (Abstr.).
- MAYNARD A., LOOSLI K., HINTZ F., WARNER G. 1981. Nutrición Animal. 2^{da} Ed. McGraw-Hill. México. p. 197-300.
- MENCHÚ J., DE ARRIOLA M., FUENTES A., ROLZ C. 1974. Posibilidad de recuperación de la pectina del mucílago del café. Utilización de subproductos del café en la alimentación animal y otras aplicaciones agrícolas e industriales. ICAITI Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, Guatemala. p. 6-8.
- MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTALES (MAQA). 2005. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 21 ed.
- MEZA F. 1994. La transformación de los desechos sólidos del café y la diversificación de los subproductos. Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología. Facultad de Ciencias Empresariales. Tesis de Grado Maestría en Administración de Empresas. p. 3-8, 49-61.

- MIRANDA E. 1972. El uso de pulpa y melaza de caña de azúcar en la alimentación de bovinos en desarrollo durante la época seca. Facultad de Agronomía. Universidad de Costa Rica. p. 6-36.
- MOLINA M., DE LA FUENTE G., BATTEN A., BRESSANI R. 1974a. Decaffeination: a process to detoxify coffee pulp. J. Agr. Food Chem. 22 (6): 1055-1059.
- MOLINA M., DE LA FUENTE G., GUDIEL H., BRESSANI R. 1974b. Pulpa y pergamino de café. VIII. Estudios básicos sobre la deshidratación de la pulpa de café. Turrialba. 24 (3): 280-284.
- MOLINA M., LECHUGA R., BRESSANI R. 1990. Valor nutritivo de la pulpa de café sometida a fermentación sólida usando *Aspergillus niger* en pollos y cerdos. Agronomía Mesoamericana. (1): 79-82.
- MORA H. 1981. Tratamiento de residuos de café en Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Proyecto de Graduación Lic en Ingeniería Civil. p. 25-26.
- MORALES C. 1979. Caracterización de las aguas residuales del beneficiado del café. OFICAFE. Centro de Investigaciones en café. p. 3-4.
- MORENO B, DÍEZ V., GARCÍA L., MENES I., GUTIÉRREZ L., POLLEDO F. 1985. Microorganismos de los alimentos. Técnicas de análisis microbiológico. Volumen I. 2^{da} edición. Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España. p. 3-10, 113-121.
- MOYA M., DURÁN M., SIBAJA M. 1990. Obtención de derivados celulósicos a partir de desechos de café. Agronomía Costarricense 14 (2): 169-174.
- NICKERSON J., SINSKEY J. (sf). Microbiología de los alimentos y sus procesos de elaboración. Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España. p. 20-23, 66-77, 112-119.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Edition. National Academy Press. Washington D.C. p. 406.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL CAFÉ. 2001. Positively coffee. ¿Puede el café ser beneficioso para su salud? Newsletter N° 1. p. 1-4.

- OROZCO S. 1976. Obtención de pectina a partir del mucílago de café, subproductos e industrias conexas. San José, Costa Rica. p. 5-10.
- ORSKOV E. 1982. Protein nutrition in ruminants. 2 ed. London: Academic Press. p. 18-39.
- ÖTLES S. 2005. Methods of analysis of food components and additives. Taylor & Francis Group. p. 1-23.
- PÉREZ V. 1995. Evaluación de alternativas para el tratamiento de aguas residuales producto del beneficiado del café. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Proyecto de Graduación Lic en Ingeniería Química. p. 11-61.
- PIMENTA J., COSTA L., DE RESENDE C. 2000. Peso, acidez, sólidos solúveis, açúcares e compostos fenólicos em café (*Coffea arabica* L.), colhidos em diferentes estádios de maturação. Rev. Bras. de Armaz. 1: 23-30.
- RAGHAVAN B., RAMALAKSHMI K. 1998. Coffee: chemistry and technology of its processing. Indian Coffee. November, Vol. LXII (11): 3-11.
- RAMÍREZ J. 1987. Compuestos fenólicos en la pulpa de café. Cromatografía de papel de pulpa fresca de 12 cultivares de *Coffea arabica* L. Turrialba 37 (4): 317-323.
- RAMÓN F., PÁEZ G., CHIRINOS M., MÁRMOL Z. 1995. Ensilaje de la pulpa de café. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 12: 417-428.
- RATHINAVELU R., GRAZIOSI G. 2005. Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café. Organización Internacional del Café. p. 1-5.
- RODRÍGUEZ V. (sf). Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. Seminario Internacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos. Cenicafé. p. 1-10.
- RODRÍGUEZ U., CAMACHO S. 1993. Importancia de los residuos y subproductos de la agricultura. San José, Costa Rica. Ingeniería 3 (3): 11-15.
- ROJAS B. 1995. Conceptos básicos en nutrición de rumiantes. Escuela de Zootecnia. Facultad de Agronomía. Universidad de Costa Rica. p. 17-50.

- ROUSSOS S., AQUIAHUATL A., CASSAIGNE J., FAVELA E., GUTIÉRREZ M., HANNIBAL L., HUERTA S., NAVA G., RAIMBAULT M., RODRÍGUEZ W., SALAS J., SÁNCHEZ R., TREJO M., VINIEGRA G. 1989. Detoxificación de la pulpa de café por fermentación sólida. I. Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera. Xalapa, México. p. 121-127.
- ROZO P., VÉLEZ R., GARCÍA A. 1985. Efecto de los polifenoles de la pulpa de café en la absorción de hierro. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Junio, Vol. XXXV No. 2: 287-296.
- RUBIO J., PINEDA J. 1974. Composición química y digestibilidad in vitro de la pulpa de café. Primera Reunión Internacional sobre la utilización de subproductos de café en la alimentación animal y otras aplicaciones agrícolas e industriales. CATIE, IICA, CODESA, OFICAFE. p.16-17.
- RUÍZ M. 1983. Sugar cane molasses for fattening steers. Head Department of Animal Production. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 1-9.
- SALGUERO Z. 1996. Valoración económica de la contaminación de las fuentes de agua por los desechos de la industria del beneficiado húmedo del café: el uso del concepto de costo defensivo. Turrialba, Costa Rica. Tesis de Grado M. Sci. CATIE. p. 142.
- SAUVANT D., PEREZ J., TRAN G. 2004. Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero. Cerdos, aves, bovinos, caprinos, conejos, caballos y peces. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México. p. 226-227.
- SIVETZ M., FOOTE H. 1963. Coffee processing technology. The Avi. Publishing Company Inc. Westport, Connecticut. p. 74-99.
- SMITTLE R., ERICKSON.P. 2001. Sweeteners and starches. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 4th Edition. Frances Pouch Downes American Public Health Association. p. 545-548.
- SUDHAKARA R. 1975. Pectins as potential by-products of coffee waste. Journal of Coffee Research Vol. 5 (1/2): 29-35.

- SWANSON J., PETRAN L., HANLIN H. 2001. Culture methods for enumeration of microorganisms. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 4th Edition. Frances Pouch Downes American Public Health Association. p. 53-62.
- VANDERZANT C., SPLITTSTOESSER D. 1992. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 3ra ed. American Public Health Association. Washington, USA. sp.
- VAN SOEST P., ROBERTSON J. 1985. Analysis of forage and fibrous foods. Cornell University. Ithaca, New York. USA. 164 p.
- VAN SOEST P., ROBERTSON J. 1979. Forage fiber analysis. Agr. Handbook No. 379. USDA. Washington, D.C. sp.
- VARGAS E. 1974. Valor nutritivo de la pulpa de café. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Tesis presentada para optar por el grado de M. Sci. p. 46-61.
- VARGAS E., CABEZAS M., BRESSANI R. 1977. Pulpa de café en la alimentación de rumiantes. II. Absorción y retención de nitrógeno en novillos alimentados con concentrados elaborados con pulpa de café deshidratada. Agronomía Costarricense 1 (2): 101-106.
- VARGAS E., CABEZAS M., BRESSANI R. 1977a. Pulpa de café en la alimentación de rumiantes. I. Digestibilidad in vivo de la pulpa. Agronomía Costarricense 1 (1): 51-56.
- VÁSQUEZ R. 1999. El beneficiado ecológico del café. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. Editores B. Bertrand y B. Rapidel. CIRAD, CCCR, IRD, IICA-PROMECAFE. San José, Costa Rica. p. 176-180.
- VÁSQUEZ R. 1997b. El manejo de efluentes en el beneficiado del café en Costa Rica. Agronomía Costarricense. 21 (1): 69-76.
- VÉLEZ R., GARCÍA A., ROZO P. 1985. Interacción in vitro entre los polifenoles de la pulpa de café y algunas proteínas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Junio, Vol. XXXV No. 2: 297-305.

- VILLELA D., FONSECA A., MIRANDA F., PONTES T., DÉA DE C. 2002. Caracterização dos teores de polifenóis e açúcares em padrões de bebida do café (*Coffea arábica* L.) cru e torrado do sul de Minas Gerais. R. Bras. Armaz. (4): 52-58.
- WASSER R., OROZCO C., CANTANERO R., RODRÍGUEZ F. 1992. Manual didáctico de tratamiento de residuos del café. Seminario Administración de Energía y Medio Ambiente en el Beneficiado del Café. p. 3-14.
- WINTGENS J. 2004. Coffee: growing, processing, sustainable production. A guidebook for growers, processors, traders, and researchers. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Pp. 925.
- XU C., CAI Y., ZHANG J., OGAWA M. 2007. Fermentation quality and nutritive value of a total mixed ration silage containing coffee grounds at ten or twenty percent of dry matter. J. Anim. Sci. April 85 (4): 1024-1029.
- ZULUAGA V. 1989. Utilización integral de los subproductos del café. I Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera. Xalapa, México. p. 63-74.

Bibliografía de internet

ASAMBLEA LEGISLATIVA, 2008. Ley de Conservación de la Vida Silvestre N° 7317. Disponible en: <http://www.asamblea.go.cr/biblio/leyes.htm//>. Consultado el 21-08-08.

ASAMBLEA LEGISLATIVA, 2008. Reforma Integral a la Ley General de Salud N° 5395 y sus Reformas. Disponible en: <http://www.asamblea.go.cr/biblio/leyes.htm//>. Consultado el 21-08-08.

COMEX, 2008. Participación del café en la economía costarricense. Disponible en: <http://www.comex.go.cr//>. Consultado el 20-08-08.

ICAFE, 2008. Café de calidad de Costa Rica. Disponible en: <http://www.icafe.go.cr/index.html> actualizada el 18-08-08. Consultado el 20-08-08.

sf: sin fecha

sp: sin paginación

APÉNDICE

CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro A1. Raciones suministradas al ganado de carne alimentado con miel de café a partir del día 45 del experimento.

Materiales	Porcentaje de inclusión en la dieta	
	Materia Seca (%)	Tal como ofrecido (%)
Heno Transvala	56.18	32.35
Maíz amarillo	24.92	13.86
Destilados de maíz	12.88	6.93
Pecutrin®	0.65	0.32
Sal blanca	0.66	0.32
Miel de café	4.72	46.21

Cuadro A2. Raciones suministradas al ganado de carne alimentado con melaza a partir del día 45 del experimento.

Materiales	Porcentaje de inclusión en la dieta	
	Materia Seca (%)	Tal como ofrecido (%)
Heno Transvala	57.17	57.90
Maíz amarillo	24.10	23.57
Destilados de maíz	13.11	12.41
Pecutrin [®]	0.67	0.58
Sal blanca	0.67	0.58
Melaza	4.28	4.96

Cuadro A3. Cronograma del Plan de Acción del Convenio de Cooperación Interinstitucional ICAFE, SNE, MSP y AyA

Etapas	Actividades a realizar	Cambios Tecnológicos	Logros
I Periodo 1992-1993			
1.Revisión e implementación del marco jurídico vigente.	<ul style="list-style-type: none"> ✿ Establecer el código ambiental integral 		
2.Reducción y medición del consumo de agua, se implementa la recirculación de las aguas dentro de las diferentes etapas del beneficiado.	<ul style="list-style-type: none"> ✿ Caracterizar el beneficio de café en relación a: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Consumo de agua por proceso y por QQ_{oro} ➤ Circuitos hidráulicos dispuestos para el proceso ➤ Balances de producción ➤ DQO /m³ de agua utilizada y por QQ_{oro} ✿ Fijar el volumen de agua para operación del sistema. ✿ Establecer un presupuesto de inversión para implementar las medidas de descontaminación propuestas 	<ul style="list-style-type: none"> ✿ Utilizar dos circuitos hidráulicos, uno para las operaciones de transporte, clasificación y despulpe del café cereza. ✿ Sustituir el lavado en caño y realizarlo en lavadoras (cilíndricas, horizontales o bombas hidráulicas), utilizando las aguas del segundo lavado para ejecutar el primer lavado. 	<ul style="list-style-type: none"> ✿ Reducir el uso de agua, consumiendo entre 250-750 L/fanega de café. ✿ Disminuir hasta un 40% la cantidad de agua utilizada en el lavado de café
3.Establecer una eficiente separación de la pulpa y el agua mediante el tamizado, realizando una disposición final de las aguas de lavado.	<ul style="list-style-type: none"> ✿ Separar el agua de la pulpa de café inmediatamente después del despulpe. 	<ul style="list-style-type: none"> ✿ Ubicar la separadora de pulpa-agua (criba cilíndrica) a la salida del sistema de despulpe (separadores de verde o chancadores). ✿ Incorporar el agua utilizada en los circuitos hidráulicos. ✿ Recibir el café en seco. ✿ Transportar la pulpa del café en seco 	<ul style="list-style-type: none"> ✿ Reducir hasta un 30% la cantidad de materia orgánica que se desprende en el contacto pulpa-agua. ✿ No usar agua durante el tiempo de recibo del café. ✿ Eliminar hasta un 5% el DQO generado.

Cuadro A3. Cronograma del Plan de Acción del Convenio de Cooperación Interinstitucional ICAFE, SNE, MSP Y AyA (continuación)

4.Efectuar una sola descarga al cuerpo receptor de los efluentes, para facilitar su control.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar la red de canales que alimentan el sistema de tratamiento de los efluentes y el canal central de descarga del cuerpo receptor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Canalizar los efluentes del beneficiado 	<ul style="list-style-type: none"> • Control sobre el vertido de los efluentes.
Etapas	Actividades a realizar	Cambios Tecnológicos	Logros
II Periodo 1993-1994			
1.Disminuir en un 50% los sólidos suspendidos en las aguas residuales e implementar una disposición adecuada de los lodos tratados.	<ul style="list-style-type: none"> • Dar tratamiento a los efluentes adicionando cal para precipitar sólidos suspendidos y disueltos, aplicando productos químicos para neutralizar los malos olores y aclarar el color del agua. • Retirar los sólidos sedimentados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo y tratamiento a los efluentes del proceso de beneficiado. • Separación de sólidos suspendidos y disueltos por precipitación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir los sólidos disueltos y suspendidos.
2.Implementar el despulpado y transporte en seco del café.	<ul style="list-style-type: none"> • Modificar el sistema de despulpe y transporte del café en el proceso húmedo, recurriendo al cambio en el diseño de las separadoras de verde o al uso de chancadores con pechero de hierro modificado o de hule. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar el despulpe de café sin agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir hasta un 50% los sólidos suspendidos.
III Periodo 1994-1995			
1.Dar tratamiento anaerobio a los materiales disueltos hasta lograr una reducción del 80% en la DQO, DBO y sólidos totales.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar e instalar sistemas de lagunaje o tratamiento anaerobio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo y tratamiento a los efluentes del proceso de beneficiado. • Disminución de los niveles de DQO 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir los niveles de contaminación por DQO.

Fuente: Adaptado de Esquivel y Canales (1993).

FIGURAS DEL APÉNDICE



Figura A1. Bovino en manga para realizar el pesaje.

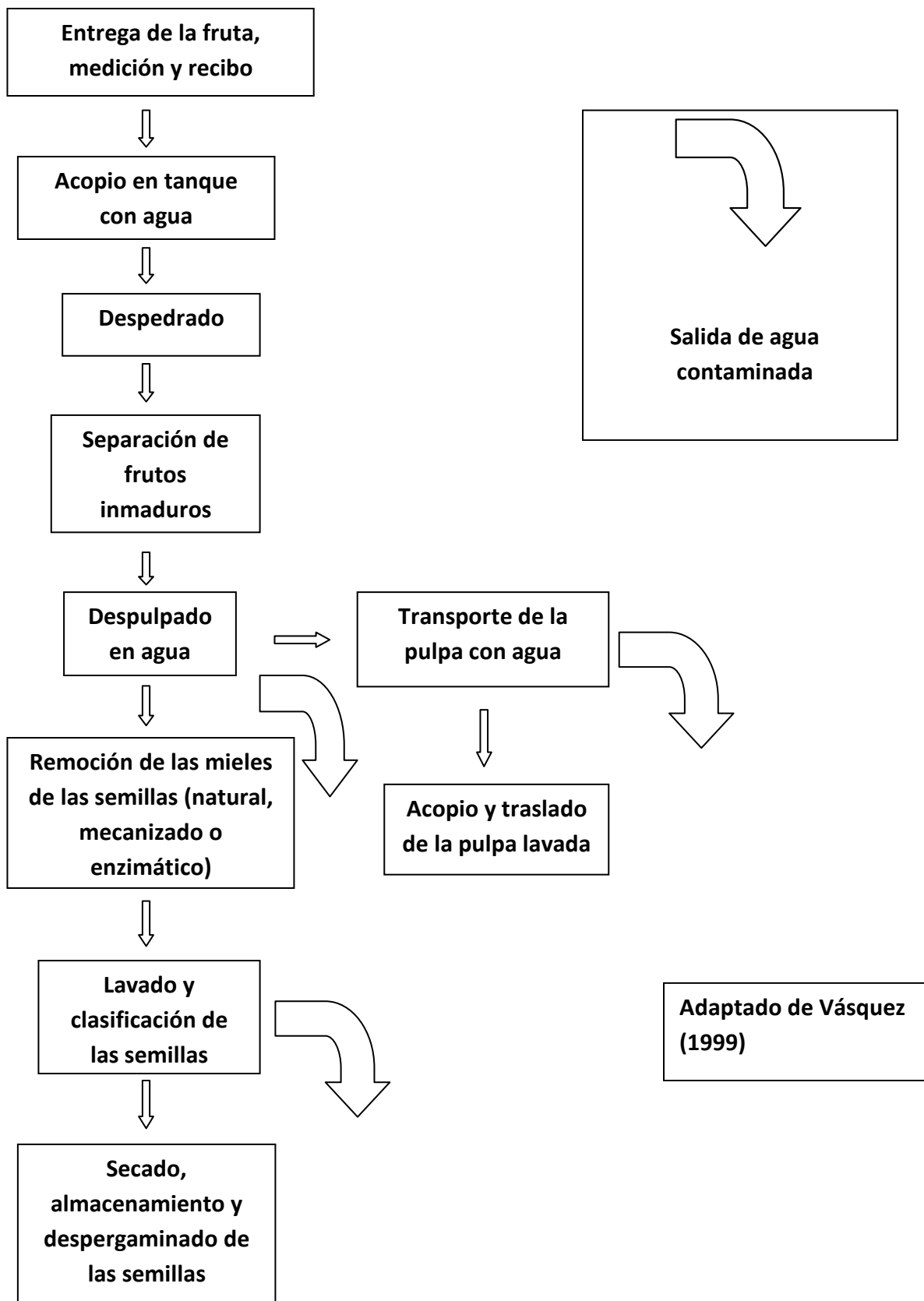


Figura A2. Etapas de procesamiento del café en el beneficiado húmedo convencional

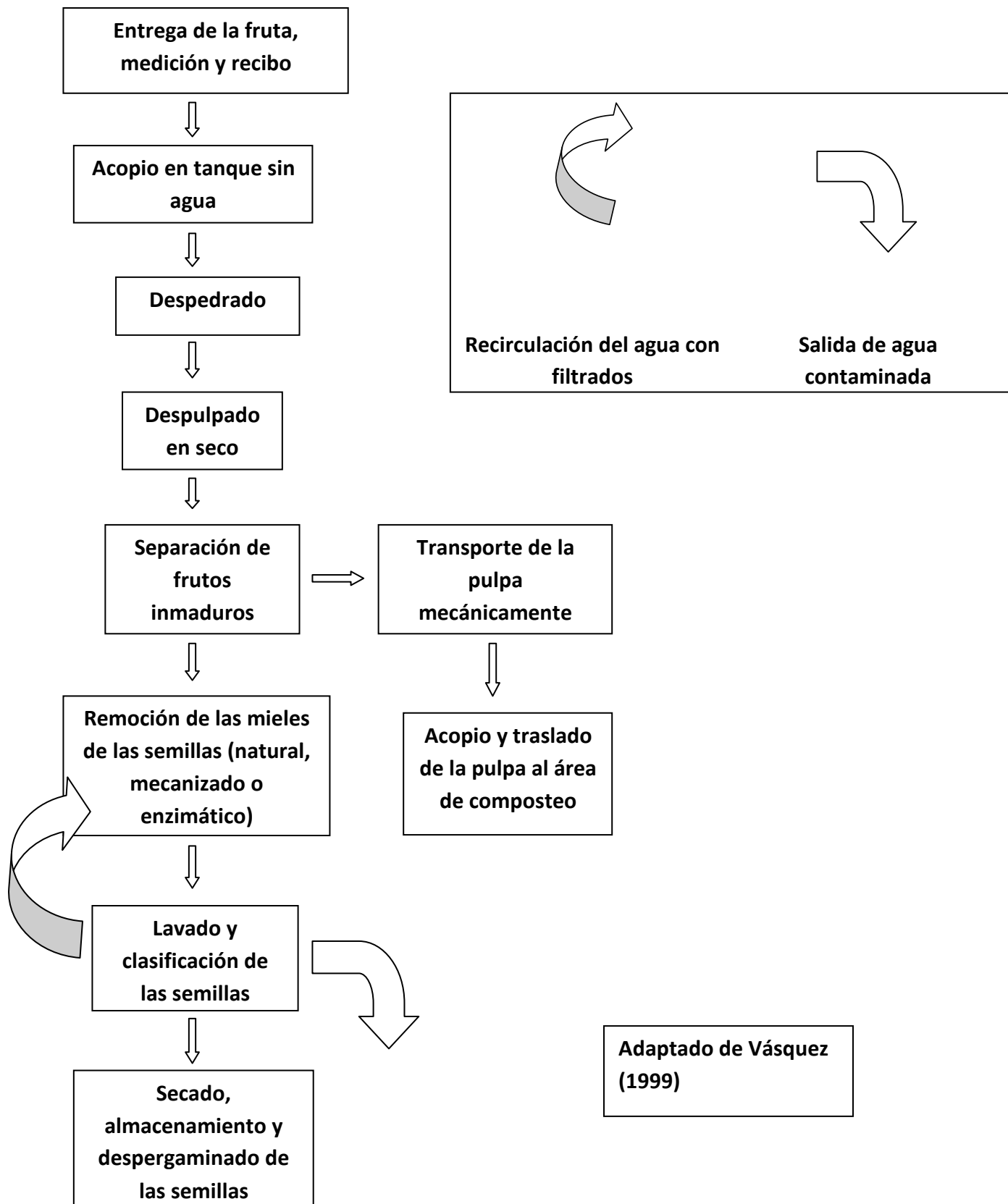


Figura A3. Etapas de procesamiento del café en el beneficiado húmedo ecológico