

Evaluación del Proceso de Ablandamiento de Residuos de Descarnes del Proceso de Curtición
Desarrollado en Sampués-Sucre, Empleando Bromelina, para su Aprovechamiento.

Natalia Guzmán Díaz

Sistema De Universidades Estatales Del Caribe Colombiano

SUE- CARIBE

Maestría en Ciencias Ambientales

Universidad de Sucre

Sincelejo, Sucre

2019

Evaluación del Proceso de Ablandamiento de Residuos de Descarnes del Proceso de Curtición
Desarrollado en Sampuès-Sucre, Empleando Bromelina, para su Aprovechamiento.

Trabajo de grado presentado para aspirar al título de
Magister en Ciencias Ambientales por:

Natalia Guzmán Díaz

Director: YELITZA AGUAS MENDOZA

PhD en ingeniería

Codirector: KATIA CURY REGINO

MSC Ciencias Agroalimentarias

Sistema De Universidades Estatales Del Caribe Colombiano

SUE- CARIBE

Maestría en Ciencias Ambientales

Universidad de Sucre

Sincelejo, Sucre

2019

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

Dedicatorias

A Dios, mi amigo fiel, por demostrarme una vez más que tiene todo bajo control.

A mi esposo Héctor por ayudarme a hacer la vida más fácil, y a mis hijos Abigail y Daniel por enseñarme que el amor no tiene límites. Les amo mucho.

Esto es por ustedes.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Dios por ser la luz en mi camino. Por permitirme vivir cada segundo de vida aprendiendo a conocerlo más. Pero sobre todo, por sentir su amor incondicional.

Agradezco a mi esposo Héctor, por acompañarme en el camino hacia cada meta propuesta. Por ser mi bastón y la ayuda más incondicional que he podido recibir de un ser humano.

Agradezco a mis padres, Arnoldo y angélica, a mi tía Mirian, a mis hermanos Oliver, Jaider, Natalí y Felipe, a mi otra madre Yolanda, porque sé que en sus corazones desean todo lo mejor para mi vida, y por darme el apoyo para cumplir esta meta.

Agradezco a mi Directora de tesis Yelitza Aguas, por confiar en mí y brindarme la oportunidad de trabajar a su lado y por regalarme su amistad sincera.

Agradezco a mi colega y amiga Katia Cury por su apoyo incondicional en este proceso, sin su ayuda, hoy esto no fuera posible.

Agradezco a los docentes de la maestría en ciencias ambientales, por su orientación y conocimiento impartido y a mis compañeros de la misma, por los momentos compartidos y vividos en este proceso.

Agradezco a mi alma mater la Universidad de Sucre Y al SUE-CARIBE por brindarme la oportunidad de alcanzar esta meta. Al grupo de investigación GIMAC por abrirme sus puertas y permitirme crecer en mi formación como investigadora.

Tabla de Contenido

RESUMEN	10
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Pregunta de Investigación	14
2. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Antecedentes	16
3. MARCO CONCEPTUAL	19
3.1. Residuos Agroindustriales	19
3.2. Contaminación Ambiental por Residuos Agroindustriales	20
3.3. La Industria Curtiembre y Sus Efectos en el Ambiente	21
3.3.1. Proceso de elaboración de cueros.....	21
3.3.2. Proceso de curtición artesanal realizado en Sampedro Sucre y residuos generados	25
3.3.3. Aprovechamiento de residuos agroindustriales	28
3.3.4. Residuos agroindustriales como bioenergéticos	28
3.3.5. Bioetanol.....	29
3.3.6. Biodiésel	29
3.3.7. Biogás	30
3.3.8. Residuos agroindustriales para compostaje	31
3.3.9. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en la producción de alimentos para animales.	31
3.3.10. Requerimientos nutricionales en la alimentación de babilla (Caimán <i>crocodilus fuscus</i>)	32
3.3.11. Descarnes de curtición.....	34
3.3.12. Generalidades de las enzimas	35
3.3.13. Bromelina EC 3.4.22.32	36
4. OBJETIVOS	39
4.1. Objetivo general	39
4.2. Objetivos Específicos	39
5. MARCO METODOLÓGICO	40
5.1. Tipo De Investigación	40

5.2.	Localización	40
5.3.	Población y Muestra	41
5.4.	Procedimiento De La Investigación	41
5.4.1.	Cuantificación de volúmenes de residuos de descarte generados en las curtiembres y diagnóstico de su manejo.	41
5.4.2.	Selección y adecuación de los descarnes	42
5.4.3.	Desencalado final de las muestras.....	43
5.4.4.	Caracterización de descarnes	44
5.4.5.	Desarrollo de Tratamientos de biotransformación	45
5.5.	Seguimiento de la Investigación	46
5.5.1.	Análisis de perfil de textura (TPA)	47
5.5.2.	Capacidad de retención de agua (CRA):	47
5.5.3.	Poder tampón	47
5.6.	Procesamiento y Análisis.....	48
5.7.	Diseño Experimental	48
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
6.1.	Diagnóstico del impacto generado por los descarnes en el ambiente.	50
6.2.	Cuantificación de volúmenes de descarte producidos y estimación de beneficio ambiental de su aprovechamiento.	52
6.3.	Desarrollo de los experimentos.....	53
6.3.1.	Caracterización Físicoquímica y de textura.....	53
6.3.2.	Análisis del perfil de textura (TPA)	60
6.3.3.	Capacidad de retención de agua CRA	64
6.3.4.	Análisis microbiológico.....	65
6.3.5.	Capacidad tampón	67
7.	CONCLUSIONES	70
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

Lista de Figuras

Figura 1 Proceso de curtido, primera etapa. Etapa de ribera.....	23
Figura 2 Partes de una piel vacuna	24
Figura 3 Proceso de curtición al vegetal desarrollado en Sampedano Sucre	
Fuente: Autor, 2020.....	26
Figura 4. Localización de las curtiembres de Sampedano.	41
Figura 5. Selección y adecuación de muestras de descarnes.....	42
Figura 6. Proceso de descalcado de las muestras de descarnes.	43
Figura 7. Determinación de humedad y extracto seco (a), pH (b), cenizas (c), proteína (d).	44
Figura 8. Siembra en Cámara de seguridad (a), procesamiento de las muestras (b), Salmonella en XLD (c), Cepas de E.coli sorbitol negativo (d), crecimiento de colonias de Escherichia coli en agar EMB. ...	45
Figura 9. Aplicación de tratamiento a los descarnes	46
Figura 10. Diagnóstico de impactos generados por la actividad curtiembre en el municipio de Sampedano. ...	51
Figura 11. Acciones realizadas por parte de los operarios para mitigar los impactos al ambiente de las curtiembres en Sampedano –Sucre.....	52
Figura 12. Comportamiento del parámetro Dureza de descarnes sin precalentar con respecto al tiempo y tres concentraciones de Bromelina.	62
Figura 13. Comportamiento del parámetro Dureza de descarnes precalentados con respecto al tiempo y tres concentraciones de bromelina.....	62

Lista de Tablas

Tabla 1 Propiedades físicas de la Bromelina.	37
Tabla 2. Técnicas aplicadas para caracterización de los descarnes.	44
Tabla 3. Diseño experimental planteado.....	49
Tabla 4 Características fisicoquímicas de los descarnes sin tratar.	54
Tabla 5 evaluación de perfil de textura de muestras de descarnes sin tratamiento	54
Tabla 6 valores de humedad arrojadas para los diferentes tratamientos.....	54
Tabla 7 Valores materia seca obtenidos para los diferentes tratamientos.....	55
Tabla 8 valores de cenizas para los diferentes tratamientos.	56
Tabla 9 Valores de proteína obtenidos para los diferentes tratamientos.....	56
Tabla 10 Valores de grasa obtenidos para los diferentes tratamientos.	57
Tabla 11 Valores de fibra obtenidos para los diferentes tratamientos.	58
Tabla 12 Valores de pH para los diferentes tratamientos.	59
Tabla 13 Valores de cohesividad en el análisis de perfil de textura realizado a los diferentes tratamientos.	61
Tabla 14 Resultados para la capacidad de retención de agua CRA de las muestras de descarnes tratadas	65
Tabla 15. Límites permisibles en recuentos microbiológicos para alimentos de la especie avícola	66
Tabla 16 Resultados del análisis microbiológico de las muestras con tratamientos aplicados	67
Tabla 17 Resultados de la capacidad tampón para los descarnes tratados.....	68
Tabla 18. Características organolépticas de los descarnes tratados.....	69

Resumen

Las curtiembres son industrias consideradas altamente contaminantes. Estas generan altos volúmenes de residuos sólidos, a los cuales no se les da la debida disposición sobre todo en aquellas curtiembres de tipo artesanal, trayendo consigo problemas ambientales que representan una preocupación para esta actividad y las comunidades que se han visto afectadas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el proceso de ablandamiento de descarnes de curtición descalcados generados de la curtición desarrollada en Sampedro-Sucre empleando Bromelina para su aprovechamiento. Para lo cual se tomaron muestras de descarnes de curtiembres semiartesanales, las cuales fueron previamente descalcadas antes de aplicar los respectivos tratamientos, que consistieron en aplicar enzima bromelina a las muestras de descarnes precalentados (40°C) y sin precalentar en tres concentraciones (0,5; 1; 1,5%), en diferentes tiempos (1, 2, 3 días). Se evaluaron las características fisicoquímicas, encontrándose que dichos residuos contienen altos porcentajes de proteína que los hace susceptibles de aprovechamiento en la elaboración de subproductos como harinas para consumo animal, así mismo se hizo un análisis del perfil de textura para verificar si hubo ablandamiento o no de los residuos, encontrándose que todas las muestras presentaron ablandamiento, siendo el mejor tratamiento el que fue aplicado con precalentamiento en el tercer día, a una concentración de enzima del 1,5%. Los resultados de Capacidad de Retención de Agua-CRA y Capacidad Tampón también se vieron afectados por la aplicación de los tratamientos. De esta manera se pudo concluir que la enzima bromelina tiene fuerza de acción sobre los descarnes provocando su ablandamiento al romper las cadenas peptídicas que componen el colágeno, permitiendo su aprovechamiento y dando solución a la problemática ambiental representada por estos materiales de desecho de las curtiembres.

Palabras claves: descarnes, ablandamiento, aprovechamiento, bromelina.

1. Introducción

La agroindustria tiene la capacidad de fomentar el desarrollo económico, social y ambiental, siempre que se mantenga el equilibrio entre la actividad desarrollada y la protección del medio ambiente en cada uno de sus procesos (Vargas Y., Pérez L., 2018). Como resultado adicional a las actividades agroindustriales, se generan subproductos o residuos agroindustriales que representan cantidades significativas y son considerados un problema ambiental (Restrepo et al., 2011); en Colombia estos residuos aún no han sido aprovechados eficientemente por la falta de conocimiento sobre los métodos apropiados para la preparación y caracterización de sustancias de mayor valor agregado con la suficiente calidad (González, 2013).

La inadecuada disposición de residuos sólidos es una constante en el sector agroindustrial, que ocasiona alteraciones en los diferentes medios abióticos, bióticos y socioeconómicos, e incluso puede llegar a generar pérdidas económicas, representando un problema de gestión para los diferentes establecimientos productores (Ramírez, 2012); es así como el aprovechamiento de los residuos agroindustriales es un alternativa de solución a problemas derivados por la generación y disposición de estos residuos.

Una de las agroindustrias que ha sido ampliamente cuestionada por generar impacto negativo ambiental es la industria curtiembre. La producción de cueros siempre ha sido catalogado como altamente contaminante, pese a que aprovecha una materia prima putrescible y de biodegradación lenta: la piel, obtenida del sacrificio de animales de abasto. Para el tratamiento de la misma se emplean volúmenes significativos de agua que posteriormente son vertidas como agua residual, en algunos casos sin ser previamente sometida a tratamiento, y se extraen residuos sólidos que son separados de la piel durante el proceso.

En Colombia la actividad curtiembre se desarrolla en un alto porcentaje por pequeñas y medianas empresas con un bajo grado de mecanización, ubicadas principalmente en el departamento de Cundinamarca y solo un 0,5% es desarrollado por grandes empresas (CAR 2015). A nivel del departamento de Sucre, en el municipio de Sampués la curtición de pieles se desarrolla al vegetal, proceso que pese a ser semiartesanal, es altamente cuestionado por la comunidad y las

autoridades ambientales, por el volumen y composición de los residuos que genera, que no son comparables con los derivados por la curtición mineral donde predominan sales minerales como el cromo, sustancias como el sulfuro, entre otras, de gran impacto y que requieren tratamientos más complejos.

En el proceso de curtición de pieles desarrollado en el municipio de Sampués, materia prima fresca o salada es sometida a un proceso de transformación donde se extrae residuos adheridos a la misma tales como pelo, musculo, grasa empleando sustancias como cal (Ca(OH)_2), que actuando por un tiempo suficiente logra el desprendimiento de pelos y facilita la separación mediante un descarnado de alrededor de un 20% a u 25% de residuos de carne y grasa que hacen parte de la piel, que luego de un desencalado logra ser conservada a través de la aplicación de un tanino (dividivi) en la etapa de curtición (Aguas, 2005).

De acuerdo a información suministradas por ACUSAM, ASMITASAN, se procesan aproximadamente 750 pieles/mes; obteniéndose grandes cantidades de descarnes compuestas principalmente de agua, proteína, grasa y minerales, lo que los hace susceptibles a descomponerse generando olores desagradables, proliferación de insectos y roedores, y siendo alimento de las aves de rapiña que a la vez se constituyen en contaminación visual. La problemática se agrava aún más, por la ubicación de las curtiembres en una zona residencial y por la carencia de un relleno sanitario en el municipio; a pesar de esta problemática, se debe considerar que esta actividad agroindustrial, genera aproximadamente 90 empleos directos y 110 empleos indirectos a nivel de microempresas de talabartería y artesanías en madera; representando ingresos para alrededor de 200 familias; constituyendo la cadena productiva del cuero y sus manufacturas, además de los proveedores de la piel en bruto y las microempresas de otros municipios aledaños que procesan derivados del cuero, de acuerdo a información suministrada por la alcaldía del municipio de Sampués en su Plan de ordenamiento territorial periodo 2016-2019.

La carencia de técnicas o medidas tendientes al manejo y posterior utilización de los descarnes debe tomarse como una oportunidad considerando que podrían ser procesados y con ello darles valor agregado; una alternativa de aprovechamiento de este tipo de residuos en la alimentación animal, es su empleo en la dieta de babillas criadas en cautiverio, para la producción

de cuero; siendo Colombia uno de los principales exportadores de cueros exóticos, entre ellos esta especie, de la cual se exportan de 600.000 a 700.000 pieles a Europa, Estados Unidos y Asia, transacción que representa unos 21 millones de dólares (63.000 millones de pesos), según estadísticas de la Asociación Colombiana de Zoocriaderos (Azoocol) (Cardona, 2016). En Colombia los Zoocriaderos se han enfocado, no solo en criar reptiles como la babilla, sino que además albergan especies como el caimán de aguja (*Crocodylus acutus*), la iguana verde (*Iguana iguana*), la boa (*Boa constrictor*), el lobo pollero (*Tupinambis teguixin*), la hicotea, entre otras especies silvestres, por lo que la zoocría contribuye de varias formas, inicialmente manteniendo un gran número o stock de reproductores en cautiverio, lo cual asegura que las especies objeto de cría ya no sufrirán extinción (Jiménez *et al.*, 2006).

Los Crocodylianos como la Babilla son una especie netamente carnívora que requiere la implementación de dietas balanceadas que resultan ser de alto costo por sus exigencias nutricionales para su adecuado desarrollo. Su dieta se basa en proteínas de origen animal, compitiendo con la alimentación humana, sumado a ello estos animales llevan más de 200 millones de años de evolución, haciendo muy delicado y complejo cambiar sus hábitos alimenticios, lo cual podría ocasionar problemas en el proceso de optimizar el desarrollo y desempeño fisiológico de los animales en cautiverio (Staton *et al.*, 1990).

Por su alto valor proteico los residuos de descarnes podrían ser transformados en materia prima para la elaboración de alimentos para Babillas y así ser utilizados en las granjas de zoocría, para lo cual se requiere aprovechar el contenido de colágeno, elastina y grasas de estos residuos (Íñiguez *et al.* 2010), pero requieren superar el obstáculo que representa la alta dureza de los mismos que los convierte en un material difícil de procesar, tanto para su aprovechamiento como para su biodegradación en el medio. Por lo anterior el objeto de la presente investigación es evaluar el proceso de ablandamiento de residuos de descarnes de curtición obtenidos en el municipio de Sampedes-Sucre, empleando Bromelina para su aprovechamiento en alimentación animal, evitando tener que disponerlos y las consecuencias medioambientales que esta acción conlleva.

1.1. Pregunta de Investigación

Esta investigación se realizó con el propósito de evaluar ¿Cómo influyen variables como la concentración de Bromelina, precalentamiento y tiempo, en la biotransformación de los descarnes? para facilitar su transformación y poderlos ofrecer como alternativa de materia prima potencial en alimentación animal reduciendo el impacto ambiental generado por su inadecuada disposición.

2. Marco Teórico

El resultado de la realización de actividades en el sector agroindustrial genera subproductos o residuos agroindustriales que representan cantidades significativas y son considerados un problema ambiental (Restrepo et al., 2011). En Colombia estos residuos aún no han sido aprovechados eficientemente por la falta de conocimiento sobre los métodos apropiados para la preparación y caracterización de sustancias de mayor valor agregado con la suficiente calidad e inocuidad (González, 2013).

Según Yepes et al., (2008) básicamente tres grupos de tecnologías para la recuperación de residuos agroindustriales: 1) la valorización biológica y química, 2) la obtención de combustibles (derivados de desechos) y 3) la valorización térmica. El primer grupo permite obtener gases, líquidos o sólidos comercializables como pectinas, enzimas, aceites esenciales, fibra dietaria (alimento para animales y humanos), hongos comestibles, flavonoides y carotenoides a partir de residuos orgánicos. Tales productos se pueden obtener mediante procesos biológicos como el compostaje o la lombricultura, entre otros. El segundo grupo permite obtener combustibles como el biogás (utilizado para diversos fines) y el tercero busca la reducción del volumen de los residuos y la recuperación de energía a partir de los gases, líquidos y sólidos generados, utilizando procesos como la incineración y la pirolisis.

Un sector agroindustrial ampliamente cuestionado por los residuos que genera es la industria curtiembre, esta se dedica al curtido de pieles de vacunos, de ovinos y de caprinos para convertirlas en cuero, material duradero, apenas permeable al agua y, a la vez, suave, elástico y flexible (Lofrano et al. 2013). El curtido es un método ancestral cuyo proceso es reconocido por el vertimiento de desechos químicos y orgánicos, así como por la liberación de compuestos volátiles de olores desagradables y desechos sólidos, que contaminan el agua, el aire y el suelo, produciendo efectos negativos en el ambiente natural y en la salud de la población. Esta actividad industrial es, además, altamente demandante de recursos naturales, por cada 1000kg de piel salada que entran al proceso, se requieren de 15 a 40m³ de agua y 450kg de insumos químicos. Se obtienen 200kg de cuero acabado, 40kg de solventes que son emitidos a la atmósfera, 640kg de residuos sólidos y 138L de agua que pierde la piel (Centro Nacional de Producción Más Limpia, 2004a);

estos volúmenes son considerables y hacen necesaria la aplicación de medidas tendientes a la reducción del impacto o al aprovechamiento de los mismos, sobre lo cual ya se han desarrollado tecnologías como las que a continuación se citan.

2.1. Antecedentes

Estudios realizados para aprovechar residuos del proceso de curtición relacionados transformándolos en otros subproductos son muy pocos, la mayoría están relacionados con estudios económicos o de factibilidad para la creación de empresas que le den un valor agregado a estos residuos como lo propone Rojas (2010) en un estudio cuyo objetivo era realizar un análisis económico y financiero del aprovechamiento de las grasas obtenidas a partir del unche (descarnes) generado en la operación de descarnes, con el propósito de incrementar la rentabilidad de la industria de curtido de pieles y reducir la contaminación ambiental generada por estas.

Páez (2010) realizó una evaluación de varias alternativas, con el fin de establecer un aprovechamiento del residuo unche generado en la operación de descarnes de la curtiembre Geca Tannery Ltda. En la primera etapa del proyecto se realizó un análisis físico químico al residuo, el cual permitió el planteamiento de tres alternativas las cuales fueron: extracción de grasas, transformación en harina proteica y elaboración de abono orgánico; estas alternativas fueron evaluadas y ponderadas mediante una matriz de decisiones, la cual permitió seleccionar la alternativa de transformación en abono orgánico, ya que esta cumplía con la mayor parte de las necesidades y expectativas de la curtiembre

Estos descarnes también han sido tratados para lograr un color uniforme, atractivo y claro, lo cual se consigue blanqueándolos con químicos y se utilizan para fabricar juguetes caninos. Los fabricantes suelen añadir piel de pollo o trozos de hígado para impregnar la carnaza con el aroma y hacerla más llamativa para los perros. Este producto es muy beneficioso para los perros puesto que además de entretenimiento puede prevenir el sarro y el cálculo dental de los caninos, ejercita los músculos de la mandíbula y de la cabeza y a nivel psíquico ha demostrado ser beneficioso para controlar la ansiedad en las mascotas del hogar (Jackson *et al.*, 2015).

La Asociación de Curtidores de Sampués – ACUSAM, a través de los años, dando cumplimiento a las exigencias de la autoridad ambiental, desarrolló un plan de manejo en el que se implementaron metodologías de aprovechamiento de residuos como el pelo, afrecho de dividivi, restos de cal, entre otros. Se realizó ensayos de preparación de abonos orgánicos a partir de estos residuos, encontrándose que el pelo, es un residuo que no se degrada mediante esta técnica. Para el caso de los residuos de descarnes, es poco lo que se ha podido avanzar, solo se han realizado estudios tendientes a analizar la aplicación de la técnica de desencalado, como herramienta para retirar la cal hidratada y mantener el más alto porcentaje de grasa en las carnazas de la curtiembre del municipio de Sampués, trabajos desarrollados por Yelitza et al., (2016).

Las características que presentan los descarnes, que serán posteriormente descritas, dificultan aplicar sobre ellos operaciones unitarias como la reducción de tamaño y/o molienda, debido a que el colágeno presente en los mismos le confiere características de alta dureza que hacen necesario la aplicación de ablandadores que faciliten el manejo y posterior transformación de estos residuos. La aplicación de calor podría ser una alternativa de pretratamiento, pero el empleo de altas temperaturas podría reducir la calidad de la proteína e incluso ocasionar su endurecimiento.

Emplear enzimas proteolíticas como la Bromelina, papaína o ficina se perfila como una alternativa viable, por demostrar eficiencia en la solubilización de las proteínas del tejido conectivo (Jiménez, 2009). Son muchas las investigaciones realizadas sobre el uso de la Bromelina, Ahmad et al., (2018) en su investigación titulada “Caracterización de gelatina de piel bovina extraída mediante ultrasonido posterior al pretratamiento con bromelina” cuyo objetivo fue extraer gelatina usando ultrasonido en conjugación con el pretratamiento con enzima Bromelina, evaluando sus efectos sobre los parámetros de calidad de la gelatina recuperada, concluyendo que el pretratamiento con bromelina resultó en un aumento significativo en el rendimiento de gelatina

Ketnawa et al., (2010), estudiaron la extracción de bromelina de la cáscara de piña (cultivo de Nang Lae) usando un sistema acuoso de dos fases (ATPS), investigando también algunas propiedades bioquímicas, incluida la hidrólisis del colágeno, para ello el extracto de bromelina se aplicó para hidrolizar el colágeno de la piel de res y bagre gigante (0-0,3 unidades). Obteniendo

una degradación del colágeno de la piel de bagre gigante, en pequeños péptidos, mientras que el colágeno bovino fue más resistente al hidrolisis por la Bromelina, utilizándose mayores cantidades para obtener esta hidrolisis, llegando a concluir que basados en la degradación del colágeno, se sugiere que la bromelina de la cáscara de piña podría usarse para ablandar la carne.

Por ultimo Gélvez et al.,(2006) evaluaron el efecto de dos enzimas naturales (papaína y bromelina) provenientes de la corteza de frutas de papaya (*Carica papaya*) y piña (*Anana comusus*) en pH, capacidad de retención de agua (CRA), textura y producción de amoniaco de la carne de res almacenada en refrigeración, obteniendo como resultado que la bromelina actúa con mayor efecto sobre las propiedades fisicoquímicas de la carne de res, mientras que la papaína requiere mayor tiempo para alcanzar la misma acción.

3. Marco Conceptual

3.1. Residuos Agroindustriales

Saval (2012), define los residuos agroindustriales como materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social. El problema al que se enfrentan los residuos agroindustriales según este autor es que no existe una clara conciencia ambiental para su manejo, además de que falta capacidad tecnológica y recursos económicos para darles un destino final, así como una legislación específica para promover la gestión de este tipo de residuos, que asegure un buen manejo desde su generación hasta su disposición final.

Las características o composición química y biológica de los residuos agroindustriales dependen del proceso de transformación y de la materia prima utilizada. Sin embargo, los residuos agroindustriales son materiales lignocelulósicos; es decir, los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina representan sus mayores porcentajes de composición (Alonso et al., 2012; Saval, 2012). A su vez, Murillo et al. (2010) establecen que las frutas son alimentos ricos en compuestos fenólicos, especialmente pigmentos antociánicos de demostrada actividad antioxidante; por ende, sus residuos también presentarán estos compuestos. Por otra parte, los residuos de cítricos, mango, banano, uva, tomate, zanahoria y remolacha presentan en su composición ingredientes bioactivos. De igual forma, los residuos del café y cítricos comparten como característica en común su alto contenido en pectinas (Serrat et al., 2016). Así mismo los residuos o materiales de desechos generados de la agroindustria no alimentaria como es el caso de las curtiembres, el papel, jabones, entre otros, se caracterizan por poseer un alto valor biológico que representan un potencial de ser utilizados en procesos de compostaje, para obtención de abonos, elaboración de subproductos entre otras opciones que les dan un valor agregado.

3.2. Contaminación Ambiental por Residuos Agroindustriales

Los residuos agroindustriales de características líquidas o gaseosas constituyen focos potenciales de contaminación y riesgo para la salud toda vez que no son dispuestos o procesados apropiadamente. De acuerdo con Barragán et al. (2008) algunos de estos residuos son quemados o vertidos en rellenos sanitarios, lo que produce una gran liberación de dióxido de carbono (CO₂), contaminación de cursos de aguas, molestias por presencia de olores, proliferación de ratas, moscas y otros insectos, entre otros efectos negativos. Estos residuos se pueden generar desde la producción de materia prima pasando por el procesamiento de la misma hasta obtener diferentes subproductos y finalmente en la misma etapa final cuando llegan al consumidor final. La no aplicación de estrategias que reduzcan su producción como el reciclaje y la disposición apropiada, producen diversos impactos ambientales adversos, lo que genera, según Guerrero y Valenzuela (2011), contaminación principalmente en el suelo y el agua, tanto en fuentes superficiales como subterráneas. Adicionalmente, en menor proporción se ocasiona contaminación en la atmósfera por las emisiones provenientes de la operación agroindustrial que pueden incluir material particulado, óxido de azufre, óxidos nitrosos, hidrocarburos y otros compuestos orgánicos.

La contaminación de la agroindustria alimentaria relacionada con oleaginosas, vegetales, azúcar, carnes, pesca, lácteos, etc. causa mayor impacto en el ambiente, entre otras, por la generación de diversos subproductos o residuos sólidos y líquidos en las diferentes etapas del procesamiento (Restrepo, 2006). Como ejemplo tenemos, el procesamiento de la palma de aceite (oleaginosa) donde se generan efluentes contaminados, como aguas y lodos residuales, y residuos sólidos como impurezas de la fruta, cuesco y tusas vacías en las diferentes etapas del proceso de recepción, esterilización, desfrutado, extracción y clarificación, que son en la mayoría de los casos vertidos y dispuestos en el ambiente sin ningún tratamiento previo (Benomie y Reyes, 2012).

Otra industria que presenta un alto potencial de generación de aguas residuales, con DBO (demanda biológica de oxígeno) de hasta 8000 mg/L, con características patógenas y principalmente presencia de sangre, huesos y vísceras, es la industria cárnica (Restrepo, 2006). Por su parte, la industria láctea también genera aguas residuales generalmente neutras, que contienen sustancias orgánicas disueltas como lactosa, sales minerales y suspensiones coloidales de

proteínas, con una DQO (demanda química de oxígeno) entre 2000 y 4000 mg/L y una DBO entre 2000 y 3000 mg/L (Arango y Sánchez, 2009). De acuerdo con esto, los diferentes efluentes se caracterizan por presentar grandes cargas orgánicas, patógenos y alta concentración de sólidos, grasas y aceites.

3.3. La Industria Curtiembre y Sus Efectos en el Ambiente

3.3.1. Proceso de elaboración de cueros

Las curtiembres en Colombia se han considerado como una de las agroindustrias más contaminantes debido a los grandes volúmenes de agua que utilizan y que su descarga a los cuerpos de agua se hace sin un tratamiento previo que no afecte el sistema receptor de éstas. A su vez los grandes volúmenes de residuos sólidos generados representan un problema ambiental para las zonas donde este tipo de industria se encuentra localizadas. La cantidad y composición de los residuos que se generan dependen, principalmente de la técnica de curtido utilizada, pero también del número y tipo de operaciones realizadas, ya que algunas son opcionales; así como de la secuencia de las mismas, de la dosificación de productos químicos y, en general, del control de proceso (Seitz, 1990; Alzate, 2004).

Como producto principal de este proceso, se obtiene CUERO, palabra que proviene del latín curium (Piel de los animales, curtida). El cuero en definitiva proviene de una capa de tejido que recubre a los animales y que tiene propiedades de resistencia y flexibilidad bastante apropiadas para su posterior manipulación. “La capa de piel” es separada del cuerpo de los animales muertos, se elimina el pelo o la lana (salvo en los casos en que se quiera conservar esta cobertura pilosa en el resultado final) y posteriormente es sometida a un proceso de curtido (Cury, 2004).

El proceso de transformación de la piel en bruto en cuero terminado está compuesto por numerosas operaciones físicas y químicas que en su conjunto tienen una duración de unas 3 semanas y que comprende básicamente tres etapas; la primera que se denomina "Ribera" y en ella se busca mecánica y químicamente limpiar las pieles de elementos que afecten la siguiente etapa, aislar la dermis y dejarla dispuesta para absorber los curtientes (Aguas et al., 2016). La segunda etapa comprende propiamente el proceso de "Curtido o curtición", aquí se busca mejorar algunas

de las propiedades naturales de las pieles, retirar cualquier material no deseado, estabilizar químicamente la estructura de la dermis y al mismo tiempo evitar su putrefacción (Beghetto, 2013). En el curtido se utilizan materiales de origen vegetal (Curtido Vegetal) o sales inorgánicas, especialmente sales de cromo (Curtido al Cromo). La piel curtida se denomina cuero azul o con el término inglés “*wet blue*”. La tercera etapa se conoce como Recurtido, Teñido y Engrase "RTE", y en ella se logra que el cuero adquiera suavidad, color y otras características que son necesarias para fabricar artículos comerciales. Finalmente, en la cuarta etapa denominada "Acabado" se imparte al cuero las características específicas que el mercado impone a cada tipo de producto, como puede ser el grabado, color y tacto, entre otros (Aguas et al., 2016).

En la (Figura 1) se observa el desarrollo de las etapas que componen el proceso de limpieza (Ribera) que es relativamente similar para todo tipo de piel, mientras que las operaciones de acabado y, especialmente, las de curtido varían de acuerdo al origen de la piel y a las características que se busca impartir al cuero. En las operaciones de terminado (Acabado), de acuerdo a las especificaciones que se requiere impartir a cada producto de cuero, se utilizan diversos materiales como lacas, pigmentos, tactos, entre otros (Alzate, 2004).

PROCESO DE CURTIDO

Etapa de Ribera

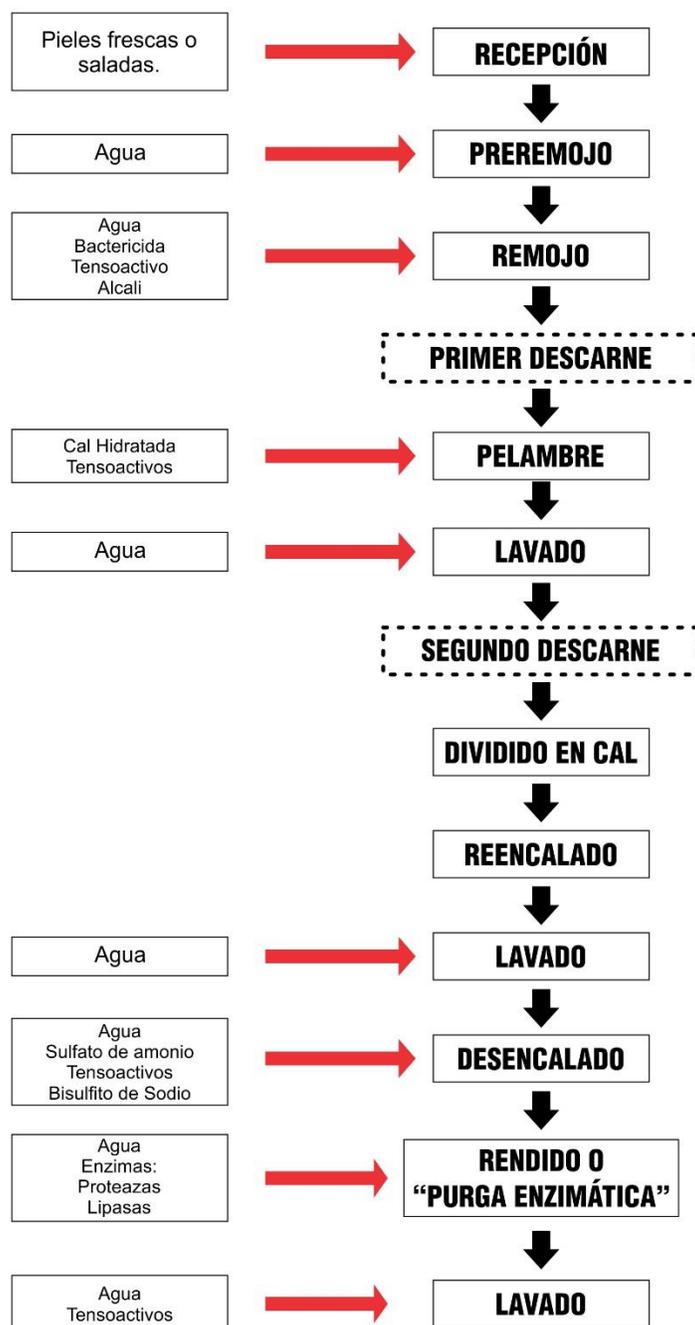


Figura 1 Proceso de curtido, primera etapa. Etapa de ribera.

Fuente: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/122/cap1.html>

Como la presente investigación se concentró en un proceso que solo desarrolla las 2 primeras etapas, estas se describen a continuación, sin profundizar en los procesos de recurtido y acabado; que se realizan principalmente en grandes industrias. Las etapas de Ribera, comprenden operaciones o procesos en húmedo, tales como el Remojo de las pieles en bruto, pelambre o depilado donde se adicionan sulfuro de sodio (Na_2S) en curtiembres industriales o hidróxido de sodio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en curtiembres semiartesanales, seguido por operaciones de descarnado, dividido, desencalado, rendido o purga, piquelado, curtición y engrase (Adzet, 2003). En la (Figura 2) se observa las partes de una piel.

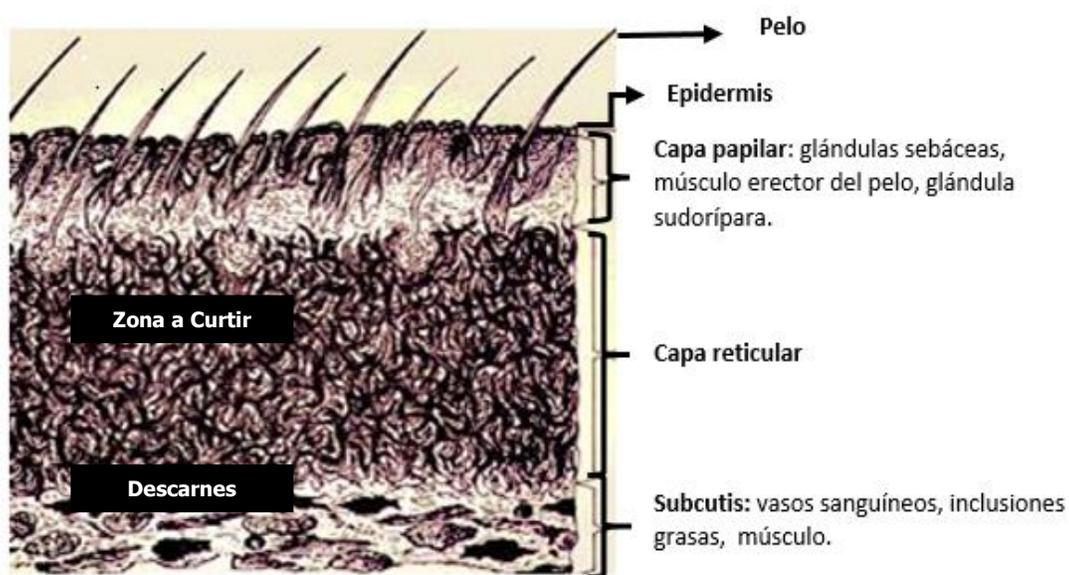


Figura 2 Partes de una piel vacuna

Fuente: Sans, R y Ribas, J. 1999

Hay que resaltar que el proceso de curtición se puede realizar de dos maneras. Una es utilizando curtientes vegetales conocidas como taninos, estos taninos vegetales se extraen de diferentes árboles y arbustos, como por ejemplo el dividivi, la acacia, roble, castaño y el quebracho. Los taninos son sustancias orgánicas que reaccionan con las proteínas del colágeno, es decir, que se unen a las moléculas de colágeno de las pieles animales uniéndolas entre sí, aportando gran resistencia a la piel. La otra manera es la curtición utilizando cromo, que es la más practicada en Colombia, debido a que se trata de un proceso más rápido, más barato y con materia prima más económica. Además, que las características finales del cuero son consideradas de mejor calidad en comparación con la curtición al vegetal.

Sin embargo, esta actividad industrial es, además, altamente demandante de recursos naturales, por cada 1000kg de piel salada que entran al proceso, se requieren de 15 a 40m³ de agua y 450kg de insumos químicos. Se obtienen 200 kg de cuero acabado, 40 kg de solventes que son emitidos a la atmósfera, 640kg de residuos sólidos y 138 L de agua que pierde la piel (Centro Nacional de Producción Más Limpia, 2004a).

Además de lo anterior los residuos de las curtiembres causan efectos adversos sobre el agua, disminuyendo la presencia de oxígeno disuelto, aumentan la salinidad entre otros. En el suelo alteran su textura y estructura, especialmente en relación con su porosidad, con la consecuente aceleración de la erosión, disminución de la productividad agrícola y pérdida de la permeabilidad. La calidad del aire se afecta especialmente por la producción y gases causados por la descontaminación de la materia orgánica y la reacción de algunos agentes químicos utilizados en la curtiembres con el aire, tal es el caso de los sulfuros que pueden generar la producción de gas sulfhídrico el cual en pequeñas cantidades se identifica por su mal olor, pero en concentraciones mayores es tóxico, el amoníaco utilizado también es generador de malos olores.

3.3.2. Proceso de curtición artesanal realizado en Sampedro Sucre y residuos generados

La Asociación de Curtidores de Sampedro - Sucre “ACUSAM”, está conformada por un grupo de personas, que conforman familias que se han dedicado desde hace varias generaciones a la producción semiartesanal de cueros curtidos al vegetal a partir de pieles vacunas y caprinas frescas o saladas; empleando el fruto del árbol de dividivi (*Caesalpinia Coriaria Willdenow*) como agente curtiente por su contenido de taninos. Se alterna el uso de tinajas o albercas con fulones o bombos, prolongándose el tiempo requerido para lograr la conversión de la piel cruda en cuero, que se constituye en materia prima para la elaboración de productos de un gran número de microempresarios y artesanos que abastecen mercados locales, regionales y nacionales. Esta actividad agroindustrial genera aproximadamente 90 empleos directos y 110 empleos indirectos a nivel de microempresas de talabartería y artesanías en madera; representando ingresos para alrededor de 200 familias; además de la cadena productiva del cuero y sus manufacturas, sin contar con los proveedores de piel en bruto y las microempresas de otros municipios aledaños que procesan derivados del cuero (Martínez y Paris 2010, Aguas *et al*, 2016).

El proceso inicia con la recepción de la piel, donde se extrae parte de residuos adheridos a la piel, en la etapa de apelmbrado la piel se somete a encalado o pelambre sumergiéndola en una lechada de Ca(OH)_2 por un tiempo suficiente para conseguir el desprendimiento de pelos; posteriormente se retiran residuos de carne y sebos mediante el descarnado; la piel libre de pelos y descarnes es desencalada mediante baños de agua, para pasar a curtición con dividivi previamente molido, lavar y secar al sol (Cury, 2004, Aguas, 2005). En la Figura 3 se describe las etapas desarrolladas en las curtiembres de Sampedo.

Recepción de pieles: en esta etapa se reciben las pieles que vienen de los diferentes sitios donde realizan el sacrificio de ganado bovino de la zona, y se extrae parte de residuos adheridos a la piel, como tierra, ramas o cualquier tipo de suciedad.

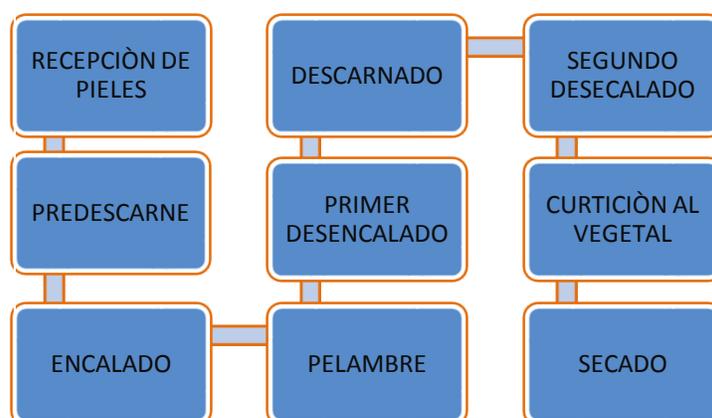


Figura 3 Proceso de curtición al vegetal desarrollado en Sampedo Sucre

Fuente: Autor, 2020

PreDESCARNE: en esta etapa con cuchillos, se retiran excesos de carnes adheridas a la piel que quedaron el momento de retirar la piel del animal y que resultan inconvenientes para el proceso. Estos residuos son dispuestos en el ambiente a la intemperie para que sean consumidos por perros, aves de carroña entre otros animales.

Encalado: en esta etapa las pieles son sumergidas en unas tinajas de concreto al nivel del suelo, que contienen una lechada de Ca(OH) con el fin de ablandar tejidos y facilitar la etapa

siguiente del proceso que es el pelambre. Los residuos generados en esta etapa son restos de cal hidratada.

Pelambre: en esta etapa se busca el desprendimiento de los pelos de la piel con ayuda de la acción que realiza la cal (CaO). Este proceso emplea un gran volumen de agua y la descarga de sus efluentes representa el mayor aporte de carga orgánica. Además de la presencia de sulfuro y cal, el efluente tiene un elevado pH (11 a 12).

Primer desencalado: en esta etapa se busca retirar de la piel el exceso de cal que puede adherirse a ella, a través de baños realizados con agua en otra tina diferente al paso anterior, y de esta manera prepararla para la siguiente etapa que es el descarnado. En esta etapa se emplean considerables volúmenes de agua con altas concentraciones de cal que no son tratadas antes de ser vertidas al sistema de alcantarillado.

Descarnado: en esta etapa las pieles se cuelgan en barandas hechas de madera o cualquier otro material resistente que no manche la piel, se coloca en una posición que sea fácil de tomar por el operario y con un cuchillo se retiran los residuos de carnes, sebos y tejido conectivo, manteniendo el cuidado de no cortar la piel de un lado a otro. En esta etapa se generan los residuos de descarnes que fueron objeto de este trabajo de investigación, y que representan una problemática ambiental por los malos olores que se generan debido a la formación de gases como metano o sulfuros producidos en su acumulación y por ser atractivo para numerosos vectores de enfermedades que anidan en la zona debido a la demanda de este material que sirve de alimento a estos.

Segundo desencalado: se realiza con el fin de seguir retirando cal adherida a la piel, también con baños de agua. En esta etapa se generan altos volúmenes de agua con concentraciones de cal, al igual que la etapa de primer desencalado

Curtición Vegetal: en esta etapa las pieles previamente apelambradas, desencaladas y descarnadas, son sometidas a curtiembre con un curtiente vegetal que puede ser dividivi o quebracho. Este curtiente vegetal ha sido previamente molido para facilitar su manejo y dilución en agua donde van a ser sumergidas las pieles durante el tiempo establecido. Los residuos generados en esta etapa están relacionados con residuos del curtiente vegetal utilizado, así como agua residual

de la etapa misma de curtición.

Lavado y secado: por último, las pieles son lavadas y secadas al sol.

En este proceso semiartesanal realizado en Sampedro- Sucre, a pesar de no utilizar cromo y otros compuestos en el proceso que son altamente contaminantes para el ambiente, se genera contaminación importante relacionada sobre todo con la generación de altos volúmenes mensuales de residuos sólidos correspondientes a pelos, y recortes de piel denominados carnaza o descarnes, que son dispuestos de manera incorrecta en los alrededores de la zona, ocasionando que diversas plagas y aves de carroña lleguen a estos sitios a comer estos respectivos residuos, sumado a la generación de malos olores en la zona que termina afectando también a las comunidades que viven aledañas, convirtiéndose así en un problema ambiental generado por esta actividad.

3.3.3. Aprovechamiento de residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales son por lo general materiales con alto valor biológico, que muchas veces son desechados sin tener en cuenta que pueden volver a la cadena productiva si se les aplica algún tratamiento que pueda permitirles un uso posterior. Estos, presentan una alta posibilidad de ser aprovechados generando beneficios para el ambiente y la sociedad, al reciclarse y utilizarse para prevenir la contaminación o recuperar ecosistemas alterados. Son tan diversos que pueden ser utilizados por ejemplo como alternativa para la producción de compost (Hernández et al., 2016) y bioenergéticos (Muñoz et al., 2013). Sin embargo, en un nivel menor está el aprovechamiento de estos en la producción de alimentos para animales (Saval, 2012) y fabricación de ladrillos o bloques (Mattey et al., 2015) u otros productos de interés con un valor agregado.

3.3.4. Residuos agroindustriales como bioenergéticos

Algunos residuos agroindustriales presentan un gran potencial para producir bioenergía a partir de biocombustibles como la biomasa energética, el bioetanol, el biodiesel, entre otros, e incluyen un rango amplio de productos que a su vez se han dividido en diferentes tipos de combustible. Los sólidos (leña, residuos agrícolas y pecuarios y residuos municipales) se gasifican para producir calor y electricidad. Los líquidos, que utilizan cultivos energéticos (caña de azúcar, oleaginosas, higuera, palma de aceite y coco), sirven para producir etanol y biodiesel (González,

2009). Es así como se puede definir la biocombustibles como combustibles renovables producidos directa o indirectamente a partir de biomasa, es decir, materiales no fósiles de origen biológico, como la leña, el abono animal, el carbón vegetal, el biogás, el biohidrógeno, el bioalcohol, la biomasa microbiana, los desechos agrícolas y forestales y sus subproductos, los cultivos energéticos y otros (FAO, 2013; Soto, 2012), catalogándose como una alternativa sustentable a los combustibles de origen fósil, que tienen implicaciones graves en el medio ambiente y se han visto reflejadas con el notable y avanzado efecto invernadero, producto de la emisión de gases de efecto invernadero producido por la quema de estos últimos.

3.3.5. Bioetanol

La producción de bioetanol a partir de la utilización de residuos agroindustriales lignocelulósicos se basa fundamentalmente en cuatro etapas: 1) pretratamiento (mecánico, térmico, fisicoquímico, químico o biológico), 2) hidrólisis enzimática, 3) detoxificación mediante métodos biológicos o fisicoquímicos y 4) fermentación principalmente de hexosas y pentosas. De esta última etapa se obtienen como productos finales un alcohol en forma de etanol, dióxido de carbono (CO₂) en forma de gas y moléculas de ATP (adenosín trifosfato) que consumen los microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico (Sánchez et al., 2010).

El bioetanol de primera generación es el producido a partir de cultivos tales como caña de azúcar, maíz, cebada, trigo, centeno, sorgo y papa (Montiel, 2010). Mientras tanto, el bioetanol de segunda generación se produce a partir de residuos sólidos de origen agroindustrial con bajo contenido de pentosa, como el producido por autohidrólisis. Este último proceso implica las siguientes tres etapas: 1) pretratamiento de LCM (material lignocelulósico: celulosa, hemicelulosa y lignina) para la mejora de la susceptibilidad de las enzimas, 2) hidrólisis enzimática de la celulosa en glucosa y 3) conversión biológica de la glucosa en etanol (Alonso et al., 2011).

3.3.6. Biodiésel

El biodiésel (ésteres metílicos o etílicos de los ácidos grasos) derivado de la transesterificación de los aceites vegetales o de las grasas animales con alcoholes alifáticos de bajo peso molecular usando catalizadores ácidos, básicos o enzimáticos, tiene la ventaja de ser biodegradable, de base renovable, no tóxica y presenta bajas emisiones contaminantes,

especialmente de SOx. El biodiesel se dice, es un tipo de energía verde que tiene la significación estratégica del desarrollo sostenible o sustentable. Como combustible, el biodiesel se puede usar puro o mezclado con diésel derivado del petróleo (Laiz et al., 2009).

Como opción, el biodiésel ha mantenido una progresiva atención durante las pasadas décadas, ya que es innegable el interés prioritario de los países altamente industrializados por contar con alternativas al inevitable agotamiento futuro de las reservas mundiales de combustibles fósiles, especialmente, a sus crecientes ritmos de consumo. Los efectos lesivos acumulativos al medio ambiente global sostienen el interés planetario para la modificación del actual modelo predominante de producción y uso de energéticos hacia procesos ecológicamente asimilables y limpios (Cárdenas y Cabezudo, 1998).

Análisis críticos recientes, además, han puesto sobre la mesa el efecto del papel de las materias primas utilizadas en la elaboración del biodiesel, ya que representan un porcentaje alto de los costos de producción cuando se utilizan semillas oleaginosas convencionales para su elaboración. También se convierte en un absorbedor competitivo socialmente desventajoso para el sector alimentario, sobre todo en países subdesarrollados o de economías emergentes, que mantienen deficiencias estructurales graves para la producción de granos y semillas alimenticias. De allí que sea prudente pensar en explorar, en primer término, la obtención de grasas y aceites vegetales a partir de los residuos y desperdicios agrícolas y agroindustriales, de nulo o bajísimo valor de cambio, como por ejemplo el bagacillo de caña, el polvillo de fique y el afrecho de yuca, residuos agroindustriales típicos del departamento de Cauca, que se caracterizan por ser biomasa lignocelulósica y al mismo tiempo residuos agroindustriales, y que han sido de gran interés para la producción de biodiésel y otros biocombustibles (Muñoz et al., 2014). Esto no solamente aumenta su valor agregado sino que puede ser una buena opción para la síntesis de este biocombustible (Leiz et al., 2009).

3.3.7. Biogás

El biogás es un gas compuesto principalmente por metano (50 %-60 %), dióxido de carbono (CO₂) y trazas de hidrógeno y nitrógeno (Yepes et al., 2008). De los residuos agroindustriales principalmente de las frutas (cáscara o pulpa) y de otros como los tallos y hojas de maíz o trigo es

posible obtener biogás para lámparas, estufas, calentadores, motores a gas, etc. De igual forma, el biogás puede ser utilizado para producción de energía eléctrica o térmica y como biocarburante (Valdés y Palacios, 2016; Yepes et al., 2008). Sin embargo, en algunos casos para la producción de biogás, es necesario mezclar la materia prima de los residuos agroindustriales con otros residuos no necesariamente resultado del mismo agroproceso, como lo son el estiércol de ganado vacuno.

3.3.8. Residuos agroindustriales para compostaje

Existen diversas técnicas que permiten mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo y su capacidad productiva. Entre estas se encuentran la aplicación de compost (humus) producido mediante el compostaje de residuos agrícolas y agroindustriales y el uso de estos residuos directamente. Según Varnero et al. (2011) el compostaje permite la recuperación de residuos orgánicos heterogéneos mediante un bioproceso aeróbico que los convierte en compost. Este es un producto homogéneo de gran calidad, que al aplicarse al suelo incrementa la población microbiana existente y su actividad, además de los contenidos minerales y la capacidad de intercambio catiónico, todo lo cual aumenta la fertilidad de aquel. Hay que mencionar además que el compost es importante porque supone una solución a la demanda de materia orgánica, los desequilibrios nutricionales de los suelos y los costos de fertilizantes y calidad ambiental que tienen que asumir los diferentes productores agrícolas con el fin de mejorar sus producciones.

Los residuos como la cachaza y el bagazo de la agroindustria de la caña de azúcar son usualmente utilizados para la elaboración de abonos orgánicos, y por eso se prestan para diferentes estudios, así mismo, el suero de leche es un residuo agroindustrial proveniente de la industria láctea que puede ser utilizado para la elaboración de compost. En la agroindustria del café también se aporta una materia prima muy importante para la elaboración de compost: la pulpa del café que posee una importante carga de nutrientes reutilizables en el proceso de compostaje, y que puede ser aplicada como abono orgánico (Hernández et al., 2016).

3.3.9. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en la producción de alimentos para animales.

Diversos factores han hecho que las materias primas utilizadas para elaborar alimento para animales aumenten sus precios, sean cereales u otros componentes necesarios, creando la

necesidad de buscar alternativas más económicas y que permitan obtener un producto con un valor nutricional óptimo. Varios de los residuos agroindustriales presentan una composición química y física que permite utilizarlos para este fin con resultados satisfactorios. Algunos han sido utilizados en la producción de alimentos para rumiantes, cerdos, aves y otras especies (Saval, 2012).

Cuba por ejemplo es uno de los países donde se han utilizado los residuos agroindustriales para la alimentación de animales como el ganado vacuno, el porcino y otras especies. Con relación a esto, según el Instituto de Investigación Porcina y la FAO (1994) en la isla se han utilizado algunos subproductos agrícolas en la alimentación de los cerdos, como follaje del boniato, foliares del plátano y residuos de frutas cítricas. Por ejemplo, el follaje del boniato o batata se caracteriza por ser principalmente una fuente de proteína y vitaminas que ha sido usado para reemplazar un 10 % de los piensos comerciales consumidos por cerdos destetados (6 a 12 kg) con resultados satisfactorios.

Los residuos agroindustriales con alto valor de FDT o FDS (fibra dietaría total o soluble) pueden utilizarse en la producción de sustancias alimenticias para consumo animal. Por ejemplo, los residuos de maracuyá tiene un valor de FDT de 66,9 %, y los residuos de limón y naranja presentan un valor de FDS de 33 % y 35 % respectivamente. Además, estos residuos también pueden ser utilizados para la producción de sustancias alimenticias humanas (Yepes, 2008). Estaríamos hablando del aprovechamiento de residuos agroindustriales en la producción de alimentos funcionales, entendiendo a estos últimos como alimentos procesados con ingredientes que desempeñan una función específica en la fisiología del organismo, más allá de su contenido nutricional (Fuentes et al., 2015).

3.3.10. Requerimientos nutricionales en la alimentación de babilla (*Caimán crocodilus fuscus*)

La babilla (*Caimán crocodilus fuscus*) conocida también como baba, caimán de anteojos o yacare blanco es una de las especies más utilizadas en la zootecnia, no solamente en nuestro país si no en gran parte de América latina, por su amplia distribución. Los crocodylianos son animales carnívoros por lo cual necesitan proteínas de origen animal para su dieta básica, lo cual implica un problema ya que estas proteínas también son necesarias para la alimentación humana. En nuestro

país no existe actualmente una dieta especializada para estos animales, por lo que en los zoocriaderos existentes se tienen diferentes alternativas alimenticias en las diferentes fases productivas de la zootecnia.

Las enfermedades generadas por desbalances nutricionales son un problema muy común en las especies silvestres mantenidas bajo condiciones de confinamiento, problema que se ha ido resolviendo con los ensayos de dietas en los Zoocriaderos, zoológicos y demás establecimientos donde se tienen poblaciones de animales silvestres confinados, ayudando a mejorar día a día las condiciones de mantenimiento de estos. Se conoce muy poco respecto los aspectos y requerimientos nutricionales de las babillas, en estudios realizados, se ha podido determinar que al igual que las otras especies cambian sus necesidades nutricionales según la edad (Puerta, 2009).

A continuación se describen algunos aspectos importantes de los componentes de la dieta de los crocodilianos:

Carbohidratos: en los Crocodylia la presencia de estos nutrientes en la dieta natural es netamente casual, la que se puede dar durante la captura de su presa y son ingeridas involuntariamente algunas partes de material vegetal. En estudios realizados con babillas, a las cuales se les suministran carbohidratos, se ha comprobado que solamente la glucosa es asimilada, a diferencia de los monosacáridos, disacáridos y polisacáridos; encontrándose también rechazo por parte de estos al suministrarse dentro de la dieta granos y otros alimentos de origen vegetal, pero no deben descartarse por completo los carbohidratos de la dieta, debido a que son una alternativa económica y tienen excelentes propiedades ligativas, lo que disminuye las pérdidas de alimento, ya que estos animales acostumbran ingerir el alimento dentro del agua.

Proteínas: estas especies metabolizan grandes cantidades de proteína de origen animal, los requerimientos básicos de proteína se emplean para las funciones de mantenimiento, crecimiento y reproducción, el excedente de esta es convertida en glucosa-glucógeno o en lípidos para el almacenamiento, y si la cantidad excedente es demasiada pasa a ser eliminada, factor que debe ser evitado, dado a que la proteína es el componente más costoso dentro de la dieta, haciendo indispensable buscar la relación adecuada entre la cantidad de aminoácidos de las proteínas, así como la glucosa de la grasa y carbohidratos para satisfacer los requerimientos de energía, buscando

mejorar los costos en la elaboración de la dieta.

Lípidos: en lo que respecta a la digestión de grasas en los Crocodylia no se ha realizado ningún estudio; sin embargo las heces se encuentran generalmente libres de grasas después del suministro de dietas con contenidos relativamente altos en grasas, lo que sugiere que las grasas sean Bajo condiciones de confinamiento, reporta la literatura una gran variedad de dietas para los crocodilianos, las cuales se han adaptado de acuerdo a la zona en que se ubica la explotación, todo esto buscando la disponibilidad del alimento y la economía, como por ejemplo: Cuando se iniciaron las granjas o zocriaderos se suministraba una monodieta (pollo entero), ya que era muy económico y también se suministraba esta dieta por el desconocimiento de los requerimientos nutricionales de los Crocodylia. Más adelante se fueron implementando dietas que suplían los requerimientos nutricionales de los animales basándose en los estudios que se fueron realizando en las distintas granjas del mundo digeridas y absorbidas rápidamente (Puerta, 2009).

Dada la exigencia a nivel nutricional y el crecimiento que ha tenido la producción de babillas para el procesamiento de su piel, se ha hecho necesario buscar alternativas de alimentación para estas especies que en lo posible sean económicas y representen de igual modo un posible aprovechamiento de residuos agroindustriales, tal es el caso de los descarnes de curtición, los cuales contienen nutrientes apreciables que no están siendo valorados y que por el contrario, se constituyen en un problema ambiental para empresas del sector curtiembres.

A continuación se describe las características de los descarnes obtenidos del proceso de curtición:

3.3.11. Descarnes de curtición

Los descarnes de curtición son un residuo proveniente de la etapa de descarnado en el proceso de curtición de las pieles, estos residuos son recortes de piel o epidermis remanente. El componente más importante de las pieles es el colágeno. En los bovinos, las pieles están compuestas por 64% de agua y 33% de proteínas, entre las que se encuentran el colágeno (29%), la queratina (2%), elastina (0,3%), albúminas y globulinas (1%), mucinas y micoides (0,7%). Como componentes menores, las pieles contienen grasas (2%) y otras sustancias, tales como materia inorgánica (0,5%), pigmentos (0,5%), entre otros (Aguas et al., 2016).

Lo anterior hace de estos residuos una fuente de proteína interesante debido a sus contenidos sobre todo de colágeno para elaboración de otros subproductos donde se puedan utilizar o aprovechar este valor biológico. Sin embargo este contenido de colágeno le da a estos residuos la característica de ser muy duros a la hora de pensar en transformarlos representando un problema, a lo cual podría ser pertinente aplicar ablandadores que podrían mejorar esta situación y así darle un adecuado manejo.

El colágeno empieza a cortarse a temperaturas de 60°C a 70 °C y se convierte en gelatina a los 80°C, este proceso a la vez influye en el ablandamiento del tejido conectivo. Pero, la cocción a temperaturas que destruyan a las fibras de colágeno hace que se destruyan las miofibras y que se pierda agua, hechos que combinados pueden provocar un endurecimiento de estos residuos. Alternativamente se podrían usar enzimas proteolíticas. Las enzimas vegetales (Bromelina, papaína, ficina) generalmente se han usado como ablandadores en carnes, siendo la más eficiente la Bromelina. Estas enzimas solubilizan 51, 37 y 15% de las proteínas del tejido conectivo, y 33, 54, 60% de las proteínas solubles en solución salina (Jiménez, 2009).

Si se piensa en el aprovechamiento de los descarnes de curtición, se debe considerar que su procesamiento implica superar el inconveniente de la dureza de los mismos, que dificultaría operaciones como la reducción de tamaño; para ello, se hace necesario el empleo de ablandadores como las enzimas. Sobre las mismas se a continuación se describen algunas generalidades:

3.3.12. Generalidades de las enzimas

Las enzimas consisten en cadenas de L-aminoácidos unidos covalentemente en una secuencia definida. Son proteínas altamente especializadas que tienen como función la catálisis o regulación de la velocidad de las reacciones químicas que se llevan a cabo en los seres vivos.

Las enzimas tienen la especial capacidad de acelerar las reacciones químicas, sin alterarse como consecuencia de la reacción, son específicas y solo actúan en un determinado tipo de reacción. Como todos los catalizadores, funcionan en una concentración molar mucho menor que la del reactivo sobre el cual funcionan.

Las enzimas se clasifican en seis grupos diferentes, dependiendo del tipo de reacción que catalice: oxidoreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas.

Oxido-reductasas: catalizan las reacciones de óxido reducción que implican oxigenación.

Transferasas: intervienen en la transferencia de diversos grupos, como aldehído, cetona, acilo, azúcar, fosforilo, etc., de una molécula a otra.

Hidrolasas: el rango de grupos hidrolizables es muy extenso, e incluye ésteres, amidas, péptidos y otras funciones que contienen grupos C-N anhídridos, glicosídicos y otros muchos.

Liasas: catalizan las reacciones de adición o formación de dobles enlaces tales como $C = C$, $C = O$ y $C = N$.

Isomerasas: catalizan diversos tipos de isomerización, incluyendo la racemización.

Ligasas: enzimas denominadas frecuentemente sintetizadas, que median en la formación de enlaces $C - O$, $C - S$ y $C - N$.

Cada clase se subdivide posteriormente hasta que las enzimas individuales se identifican mediante un código de dos letras mayúsculas, EC y 4 cifras.

Proteasas: son enzimas que rompen los enlaces peptídicos de la proteínas. Usan una molécula de agua para hacerlo y por lo tanto se clasifican como hidrolasas (Dalgo, 2012), las cuales hidrolizan las cadenas polipeptídicas de las proteínas sustrato, se caracterizan por tener gran variedad de especificidades. De acuerdo con el aminoácido o metal que posean en su sitio activo se clasifican en cuatro familias: serín proteasas, asparticoproteasas, cisteín proteasas y metalproteasas.

Específicamente para el caso de los descarnes, enzimas como la Bromelina cuyas características seguidamente se describen, representan una alternativa potencial para facilitar el procesamiento y posterior aprovechamiento de los mismos.

3.3.13. Bromelina EC 3.4.22.32

La Bromelina es una enzima que se obtiene del jugo, de la fruta o de los tallos de la piña (*Ananas comosus*). Es una glicoproteína del grupo de las cisteín proteasas. Preferentemente actúa

sobre los aminoácidos básicos y aromáticos de las proteínas. Su pH óptimo varía con el sustrato, en el rango de 5 a 8. Esta enzima se constituye por aminoácidos que están enrollados en dos partes separadas por un puente que tiene un lugar activo con un grupo tiol (SH) libre (Carrera, 2003).

Esta enzima ha sido ampliamente conocida y usada en los últimos 10 años. En la industria de alimentos, su mayor aplicación es en el ablandado de la carne, en el enfriamiento de la cerveza, en productos de proteínas solubilizadas, en desechos de pescados, así como también, en la producción de proteínas hidrolizadas. Sullivan y Calkins (2010) reportaron que la Bromelina puede mejorar la terneza de la carne en comparación con otras enzimas exógenas, debido a su buena actividad sobre los tendones y el tejido conectivo rico en elastina. Junto con la papaína (enzima activa de la papaya), la Bromelina tiene una actividad hidrolítica sobre el tejido conectivo con una eficacia del 60%, lo que hace que estas enzimas tengan la capacidad de proporcionar un rápido ablandamiento de la carne de vacuno adulto (Ionescu et al., 2008).

Las principales propiedades físicas de esta enzima son las siguientes:

Tabla 1. Propiedades físicas de la Bromelina.

<i>Propiedades</i>	<i>Tallo de Piña</i>
Peso molecular	33000 Da
Color	Blanco
Estado	Polvo
Olor y sabor	Característico
solubilidad	En agua
pH optimo	7
Actividad enzimática	1200 GDU/g
Temperatura de inactivación	70°C

GDU (unidades de disolución de gelatina)

Fuente: Del Pezo, (2018)

Considerando la disponibilidad de los descarnes como materia prima, la necesidad de reducir el impacto ambiental que estos ocasionan, las características nutricionales, la dureza que presentan los descarnes y las propiedades de enzimas como la Bromelina, se planteó la presente investigación, en la que se pretendía evaluar la influencia de la aplicación de Bromelina a

diferentes concentraciones a descarnes desencalados, sometidos o no a precalentamiento en distintos periodos de tiempo sobre el ablandamiento de los mismos; para ello se plantearon los objetivos descritos en el capítulo siguiente.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Evaluar el proceso de ablandamiento de descarnes de curtición desencalados generados de la curtición desarrollada en Sampués-Sucre empleando Bromelina para su aprovechamiento.

4.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar los volúmenes de residuos de descarnes generados, identificando el manejo dado a los mismos y evaluando el beneficio ambiental de su aprovechamiento.
- Caracterizar los descarnes desencalados generados en la etapa de ribera a nivel fisicoquímico.
- Desarrollar (18) procesos de biotransformación de descarnes desencalados a escala piloto empleando la enzima bromelina, determinando la relación existente entre la concentración de la enzima, el precalentamiento, y el tiempo en la biotransformación de los mismos.
- Evaluar perfil de textura (TPA), Capacidad de Retención de Agua (CRA), y presencia microorganismos indicadores de calidad, en los descarnes tratados.
- Determinar la estabilidad de los descarnes tratados, evaluando el poder tampón de los mismos, color olor y consistencia.

5. Marco Metodológico

5.1. Tipo De Investigación

Se desarrolló una investigación de tipo experimental, enmarcado dentro de la línea de investigación biotecnología e innovación.

5.2. Localización

El estudio se realizó en el municipio de Sampués, departamento de Sucre en las curtiembres localizadas en los 9° 10' 42.72" N, 75° 22' 24.39" O, más específicamente en el barrio Mercedes de este municipio (Figura 4).

La parte experimental de la investigación se desarrolló en los laboratorios de microbiología de la Universidad de Sucre, sede Puerta Roja. Los análisis bromatológicos y fisicoquímicos se desarrollaron en el laboratorio de nutrición animal, del programa de zootecnia de esta universidad y el laboratorio de investigación y servicios del Grupo de Investigación Procesos y Agroindustria de Vegetales “GIPAVE” de la Universidad de Córdoba, sede Berástegui.

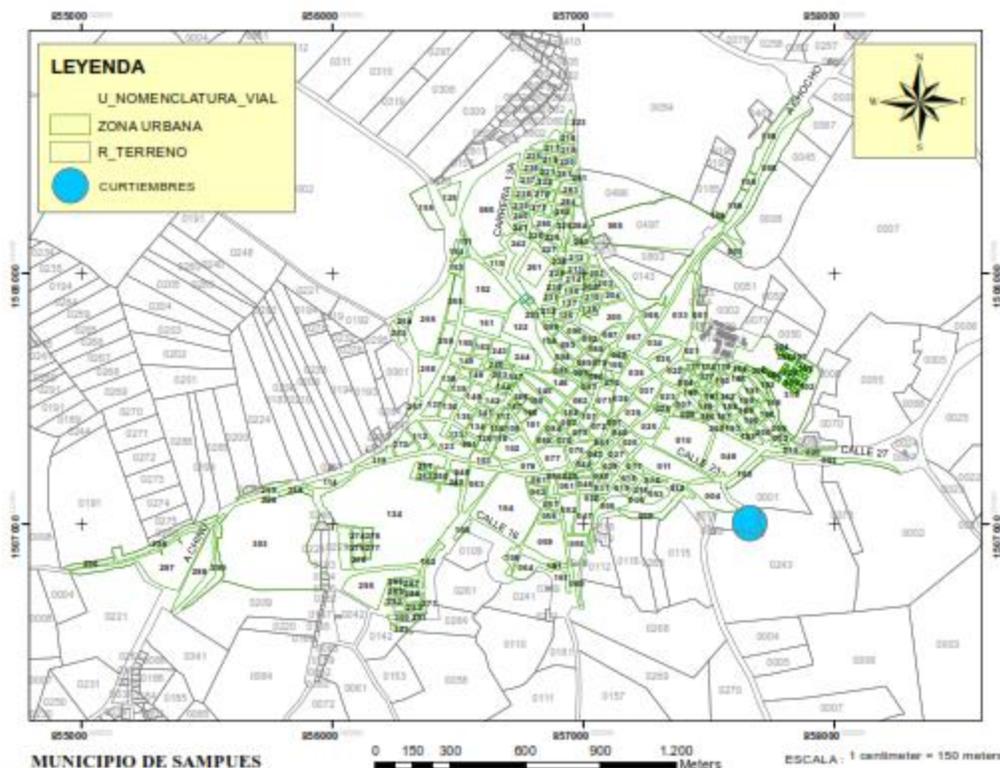


Figura 4. Localización de las curtiembres de Sampedro.

Fuente: Instituto Agustín Codazzi

5.3. Población y Muestra

La población objeto de estudio fueron los descarnes derivados del proceso de Curtición al vegetal de pieles vacunas desarrollado en Sampedro - Sucre, suministrados por la Asociación de Curtidores de Sampedro - ACUSAM.

5.4. Procedimiento De La Investigación

5.4.1. *Cuantificación de volúmenes de residuos de descarnes generados en las curtiembres y diagnóstico de su manejo.*

Para la consecución de la información primaria se realizó entrevistas a los operarios en cada una de las unidades productivas. La cuantificación de volúmenes se verificó realizando

pesajes durante la operación de descarnado en los días de mayor producción señalados por los productores.

Se realizó un diagnóstico de las condiciones del entorno, evaluando el manejo y disposición dado a los descarnes una vez generados, analizando la influencia o impacto de este manejo en el ambiente, los trabajadores y la población que habita en los alrededores.

5.4.2. Selección y adecuación de los descarnes

Se tomó una muestra de 43.2 kg de descarnes que fueron separados de las pieles frescas una vez enjuagadas en la etapa de primer descalcado. Este volumen total, fue estimado a través de preensayos partiendo de la base de que para cada repetición se requería de 800 g de descarnes para la aplicación del proceso de descalcado total, de los cuales quedaría lo necesario para la aplicación de la enzima en los tratamientos establecidos y la toma de muestras para la realización de las pruebas de laboratorio.

Para la adecuación de las muestras, fueron seleccionados descarnes homogéneos, que fueron enjuagados retirando de ellos impurezas y cuerpos extraños, luego fueron reducidos de tamaño a 2 cm² aproximadamente y conservados en refrigeración (Figura5).



Figura 5. Selección y adecuación de muestras de descarnes

Fuente: Autor

5.4.3. Desencalado final de las muestras

Muestras de 800 gramos de descarnes por tratamiento, fueron sometidas a desencalado usando ácido sulfúrico 2N durante 4 horas a una temperatura de 30 °C, con agitación constante, utilizando un agitador de cabezal de 20 Litros tipo OS 20- S., posteriormente se conservaron refrigeradas hasta que se emplearon. Seguidamente se adicionaron en recipientes plásticos que contenían un volumen de agua 2 veces mayor al volumen de residuos y con agitadores eléctricos que simulaban los baños realizados en los bombos de madera que utilizan en la curtiembre, se les adicionó solución de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 2 Normal, hasta que el pH de las muestras estuviera en un rango 5-8, óptimo para el funcionamiento de la enzima, verificado con un medidor de pH (modelo UB-10, marca Denver Instrument) previamente calibrado con soluciones amortiguadoras de pH 4 y 7.

El tratamiento permitió retirar gran parte de la cal en los residuos de descarnes, toda vez que el desencalado realizado en las curtiembres no es efectivo, dejando las pieles con pH elevados que limitarían la acción de la enzima. La eficiencia del desencalado fue verificada, mediante la adición de indicador de pH (Fenolftaleína), según metodología descrita por Aguas *et al.*, (2016), que consistió en la adición de una gota de indicador en la muestra de residuo; si se tornaba violeta significaba la presencia de cal aun en el material, si no presentaba coloración entonces había ausencia de cal.

En la Figura 6, se observa evidencias fotográficas del proceso de desencalado aplicado a las muestras.



Figura 6. Proceso de desencalado de las muestras de descarnes.

Fuente: Autor

5.4.4. Caracterización de descarnes

Los descarnes fueron caracterizados siguiendo los protocolos de análisis fisicoquímicos que se enuncian en la Tabla 2. Las mediciones fueron realizadas en base seca.

Tabla 2. Técnicas aplicadas para caracterización de los descarnes.

Análisis	Método
Humedad y Extracto seco	AOAC 930.15/95
pH	AOAC 981.12/90
Proteína	AOAC 24.027/95
Materia Grasa	AOAC 24.005/95
Cenizas	AOAC 920.153/99
NMP de <i>Coliformes</i> totales y fecales	NMP–CBVB (INVIMA)
Aerobios mesófilos	Recuento en placa (INVIMA)
Recuento de hongos y levaduras	BAM–FDA 8th ed

Fuente: autor

En la Figura 7, se observa evidencias fotográficas de la determinación de humedad y extracto seco, pH, proteína, cenizas.

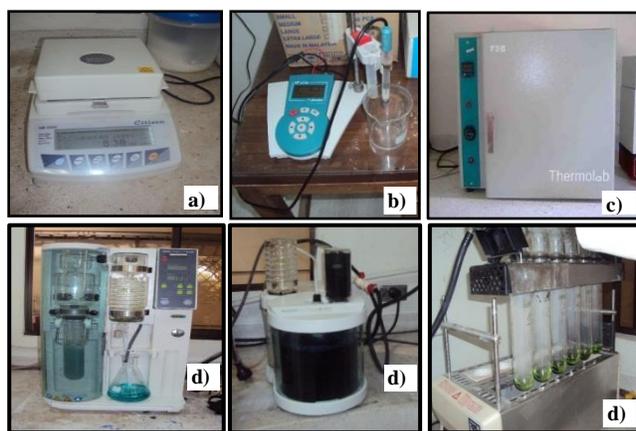


Figura 7. Determinación de humedad y extracto seco (a), pH (b), cenizas (c), proteína (d).

Fuente: autor

En la Figura 8, se observa evidencias fotográficas de las técnicas aplicadas para determinación de microorganismos indicadores de calidad en los descarnes.

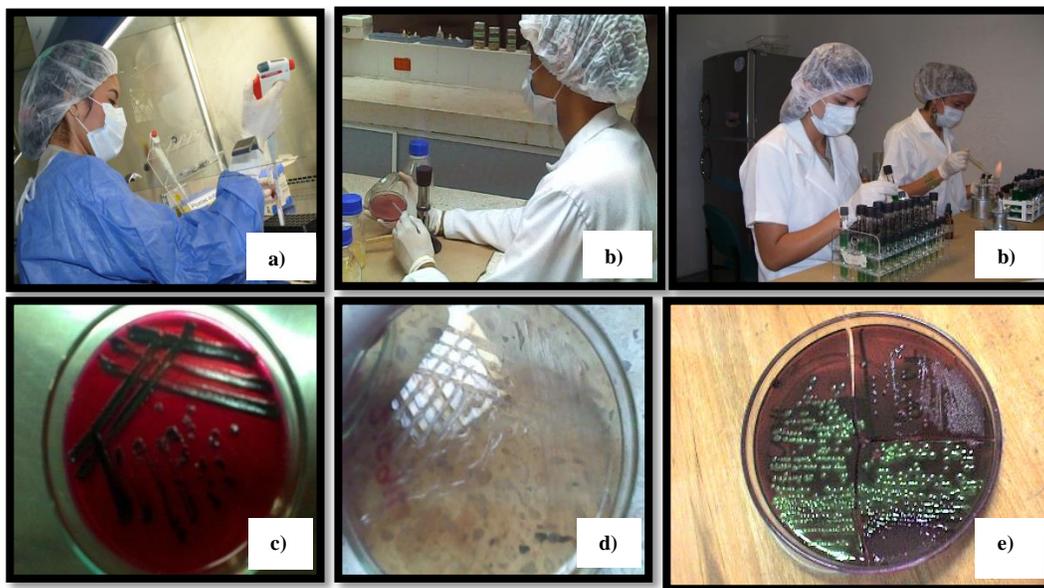


Figura 8. Siembra en Cabina de seguridad (a), procesamiento de las muestras (b), Salmonella en XLD (c), Cepas de E.coli sorbitol negativo (d), crecimiento de colonias de Escherichia coli en agar EMB.

Fuente: autor

5.4.5. Desarrollo de Tratamientos de biotransformación

Para evaluar el proceso de ablandamiento de los descarnes ya desencalados, se tomaron muestras de aproximadamente 600 gramos para cada repetición. El 50% de las muestras fueron sometidas a un precalentamiento que consistió en sumergirlas en agua a temperatura de 40°C durante un tiempo de 15 minutos a temperatura constante. El resto de muestras no se sometieron a ningún pretratamiento.

Posteriormente el 100% de las muestras precalentadas y sin precalentar, se atomizaron con enzima comercial purificada Bromelina (E.C. 3.4.22.32) de la marca MERCK, que fue disuelta en agua destilada a tres concentraciones (0,5%, 1% y 1,5% p/v); los descarnes tratados fueron introducidos en bolsas de polietileno con sello hermético a las cuales se les había realizado unas

aberturas para evitar que el proceso se diera en condiciones anaerobias, se dejaron a temperatura ambiente durante 3 días, tomando muestras el primer, segundo y tercer día para la realización de pruebas de laboratorio que permitieron evaluar el comportamiento de los descarnes sometidos a tratamiento, en términos de textura, capacidad de retención de agua – CRA, poder tampón, estabilidad, color, olor.

Cada tratamiento fue realizado con 3 repeticiones, tal como se observa en la figura 9.



Figura 5. Aplicación de tratamiento a los descarnes

Fuente: Autor

5.5. Seguimiento de la Investigación

De las muestras sometidas a cada uno de los tratamientos con sus respectivas repeticiones, fueron tomados aproximadamente 200 gramos para la realización de pruebas de laboratorio evaluando el comportamiento a través del tiempo de la aplicación de Bromelina a diferentes concentraciones en descarnes descalcados precalentados y sin precalentar, en términos de textura, capacidad de retención de agua – CRA, poder tampón, estabilidad, color, olor, para lo cual se requirió aplicar los procedimientos que se describen a continuación, siguiendo protocolos establecidos para materiales similares, tales como la carne vacuna, debido a que en particular no existen antecedentes o registros de este tipo de ensayos para descarnes de curtición.

5.5.1. Análisis de perfil de textura (TPA)

Para la determinación del TPA se utilizó un texturómetro modelo TA.XTPLUS texture analyser, marca Stable Micro System acoplado al software Texture Exponent 32, Para esto se utilizaron muestras de descarnes cortados en cubos de 1.0 x 1.0 x 1.0 cm y se realizaron dos compresiones del 30% con una velocidad de compresión de 1mm/seg.

El método de TPA se realizó mediante la aplicación de una fuerza de compresión dos veces sucesivas en las muestras, para simular la masticación, donde se obtendrá una curva fuerza/tiempo y se calculará los siguientes parámetros: cohesividad, dureza, adhesividad, gomosidad, y elasticidad (Plá, 2000).

5.5.2. Capacidad de retención de agua (CRA):

Este análisis se llevó a cabo mediante el “método de compresión en papel de filtro” descrito por Plá (2000) que consistió en pesar el papel de filtro seco, agregar una cantidad conocida de carne y colocar sobre ella un peso constante durante tres minutos, pasado éste se hará pesaje del papel de filtro húmedo, expresando la cantidad de agua liberada por presión mediante la siguiente ecuación como:

$$CRA = \frac{\text{Peso del papel filtro húmedo} - \text{peso del papel filtro seco} * 100}{\text{peso de la muestra}}$$

Donde CRA: Capacidad de retención de agua

5.5.3. Poder tampón

Este análisis se realizó llevando a cabo la metodología por Playne y McDonald (1966) mediante la cual, se maceraron 10g de muestra de descarnes frescos con 250 mL de agua destilada, se adicionó lentamente ácido clorhídrico (HCL) 0.1 N hasta que la solución alcanzó un pH 3, se elevó el pH hasta 4 adicionando hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N y con ayuda de un titulador se adicionó NaOH hasta que el pH de la solución llegó a 6. Para lo cual se mantuvo el potenciómetro en la solución mientras se hacia la titulación, anotando el volumen gastado.

Los resultados de poder tampón fueron expresados como mEq de álcali necesario para cambiar el pH de 4 a 6 por cada 100 g de materia seca - Ms de muestra.

5.6. Procesamiento y Análisis

El análisis de los datos se realizó utilizando el software Statgraphics® Centurion (XV) 16.1.15 para Windows, a través de un análisis ANOVA para determinar las diferencias estadísticamente significativas, con una confiabilidad del 95 %, un nivel de significancia (α) de 0,05; la prueba de comparación de medias utilizada fue la de diferencia honesta significativa (DHS) de Tukey.

5.7. Diseño Experimental

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de $2 \times 3 \times 3$, empleando la metodología de medidas repetidas, donde se tomaron como variables la aplicación de calentamiento previo, la concentración de Bromelina adicionada y el tiempo de tratamiento (tiempo de exposición a la Bromelina); donde el factor 1 es el precalentamiento de los descarnes con 2 niveles (descarnes precalentados a 45°C y sin precalentar), el factor 2 es la concentración de la enzima Bromelina, con 3 niveles (0.5, 1 y 1.5% p/v) y el factor 3 es el tiempo de exposición a la enzima, con 3 niveles (1, 2 y 3 días), con tres repeticiones, para un total de 18 unidades experimentales y 54 repeticiones en total.

Para definir el límite de tiempo de aplicación de la enzima, se realizó previamente ensayos utilizando extracto de piña (jugo de residuos como el tallo) en muestras de descarnes provistas por la asociación de curtidores de Sampedro - ACUSAM, evaluando en los mismos la dureza durante 1, 3, y 5 días, permitiendo obtener información de base para realizar los experimentos.

No es mucha la información disponible respecto a investigaciones de aplicación de esta enzima en residuos; por lo cual se tomó como base lo estimado en los preensayos y la literatura que definía la variable tiempo en ablandamiento de proteínas como la carne vacuna. Para el caso de los preensayos, se observó que los residuos al quinto día se hicieron difíciles de manejar, debido a que se encontraron bastante desintegrados, lo que llevo a concluir que el día 5 debía ser

descartado, llegando a establecer que la investigación debía realizarse tomando como base 1, 2 y 3 días para la aplicación de tratamientos.

En la Tabla 3. Se esquematiza el diseño experimental aplicado para la

Tabla 3. Diseño experimental planteado

	Tiempo en días	Concentración de enzima en %	Repeticiones	
Precaentados	1	0,5	3	
		1	3	
		1,5	3	
	2	0,5	3	
		1	3	
		1,5	3	
	3	0,5	3	
		1	3	
		1,5	3	
Tratamientos	1	0,5	3	
		1	3	
		1,5	3	
	2	0,5	3	
		1	3	
		1,5	3	
	Sin precalentar	3	0,5	3
			1	3
			1,5	3
Total repeticiones 54				
Total unidades experimentales= 18				

Fuente: **Autor**

6. Resultados y Discusión

Este capítulo muestra los resultados obtenidos con la ejecución de la investigación, la cual se trabajó en dos etapas, la primera consistente en el desarrollo de un diagnóstico de la etapa de descarnado, enfocada a la medición de residuos de descarnados producidos y del manejo dado a los mismos y una segunda etapa, relacionada con la aplicación de los tratamientos o etapa experimental, que una vez realizada permitió validar la hipótesis y con ello evaluar los beneficios del aprovechamiento de los descarnados.

6.1. Diagnóstico del impacto generado por los descarnados en el ambiente.

El seguimiento al proceso productivo de curtiembres ubicadas en el municipio de Sampués, la observación del desarrollo de actividades en las unidades productivas y la realización de entrevistas a operarios permitió obtener un diagnóstico de los impactos generados por esta actividad en la zona, encontrándose en primer lugar que su ubicación en la zona urbana, ha sido un problema para estos productores, debido a que han sido objeto de denuncias por parte de la comunidad ante la autoridad ambiental competente (CARSUCRE) por problemas generados como lo son malos olores derivados de la emisión de gases por la acumulación de material orgánico putrescible, específicamente los producidos en la etapa de descarnado, que son acumulados en pilas, en los alrededores, sin el más mínimo tratamiento. Así mismo, manifestaron haberse presentado problemas de obstrucción en la red de alcantarillado, por el vertimiento de aguas residuales con elevados contenidos de residuos sólidos, tales como pelos, cal, restos de descarnados, y grasa. A todo esto, se suma la presencia de diversas plagas que son vectores de enfermedades como roedores, insectos rastreros (cucarachas) y voladores (moscas) y aves de carroña (Figura 10) afectando el entorno y bienestar de los habitantes de la zona.



Figura 10. Diagnóstico de impactos generados por la actividad curtiente en el municipio de Sampués.

Fuente: autor

Si bien esta actividad productiva contribuye al desarrollo económico del municipio, históricamente se ha constituido en un problema para las autoridades, ya que como anteriormente se mencionó, al estar en una ubicación céntrica de la zona urbana, sus emisiones y residuos van a afectar a la población de los alrededores, e incluso a los mismos operarios que diariamente sin protección alguna manipulan materiales biológicos, orgánicos, inorgánicos, maquinaria, utensilios entre otros; situación que ha llevado a pensar en el cierre de las mismas o su traslado a otra zona alejada del perímetro urbano, pero esto constituye una problemática social por el gran número de familias que derivan su sustento de esta actividad.

Se han realizado acciones tendientes a mitigar los impactos generados por esta actividad en el municipio de Sampués, es así como en cabeza de instituciones oficiales y no oficiales se han llevado a cabo investigaciones de estudiantes de pregrado y maestría que buscaron mejoras en el proceso, como fueron la realización de ensayos de desencalado o neutralización de descarnes y secado al sol de los mismos, de modo que se optimice las técnicas y permitan su aprovechamiento (Aguas et al., 2016). Otras acciones que los productores manifestaron haber realizado para mitigar impactos están relacionados con el desarrollo de jornadas de arborización que hoy constituye la

barrera viva con la que cuentan las curtiembres y que mejoraron significativamente el entorno; así mismo se elaboraron abonos a partir de residuos de material curtiente (dividivi) que no fueron dispuestos junto con las aguas residuales generadas en el proceso (Figura 11). A pesar de esto, se pudo constatar que acciones realizadas con los residuos provenientes de las etapa de descarnado han sido muy pocas, y que han quedado en la teoría puesto que no se aplican en la actualidad.



Figura 6. Acciones realizadas por parte de los operarios para mitigar los impactos al ambiente de las curtiembres en Sampués –Sucre.

Fuente: autor

6.2. Cuantificación de volúmenes de descarnado producidos y estimación de beneficio ambiental de su aprovechamiento.

De acuerdo a lo manifestado por los operarios de ACUSAM, se maneja un promedio de 750 pieles por mes, y luego de realizado el pesaje de los descarnados generados en la etapa de descarnado del proceso de curtición en los días señalados como de mayor producción, se obtuvo un promedio de 4,75 kg de descarnados por piel, representando en promedio 3,56 toneladas mensuales de este residuo, que son dispuestos de manera inapropiada en los alrededores de las curtiembres, por los altos costos que implicaría disponerlos en otro lugar y la carencia de relleno sanitario en el municipio.

En curtiembres industrializadas y semi-industrializadas se aprovechan residuos de descarnado para la obtención de grasa, que puede ser utilizada para productos como jabones; pero para el caso

partículas de las curtiembres objeto de estudio, no se ha desarrollado ningún tipo de mecanismo de aprovechamiento, solo se llegó a resultados que recomiendan para reducir su concentración de cal, abriendo las puertas para investigaciones como la presente, donde se desarrolló una alternativa para permitir su aprovechamiento; el beneficio ambiental de aprovechar estos residuos se cuantifica al impedir que se acumulen y descompongan aproximadamente 3,56 Ton/mes de descarnes que se producen en Sampuès – Sucre, con lo cual desaparecería parte de la emisión de gases como metano o sulfuros, que ocasionan malos olores al ser inadecuadamente dispuestos. El aprovechamiento de los descarnes, reduciría la presencia de aves de carroña, roedores, insectos y otros vectores, al no disponer de alimento en el área.

Por último, se genera una alternativa para la obtención de un ingreso adicional o la creación una posible empresa que de valor agregado a este residuo, resolvió de paso una problemática ambiental y brindando una opción alimentaria a los zocriaderos, sin competir con la seguridad alimentaria.

6.3. Desarrollo de los experimentos

Durante la etapa experimental desarrollada, se pudo observar la relación existente entre la concentración de la enzima, el precalentamiento, y el tiempo en la biotransformación de los descarnes de curtición descalcados, expresados en sus características fisicoquímicas y el perfil de textura. Para poder realizar una comparación, inicialmente se evaluaron las características de las muestras de descarnes sin tratar y posteriormente las mismas sometidas a tratamiento.

6.3.1. Caracterización Fisicoquímica y de textura

La tabla 4 y 5 muestran respectivamente las características fisicoquímicas y de textura de las muestras de descarnes sin tratamiento aplicado.

Tabla 4. Características fisicoquímicas de los descarnes sin tratar.

PARÁMETRO ANALIZADO	VALOR % p/v
Humedad	85.8
Materia seca	14.22
Cenizas	13.2
Proteína	38.98
Extracto etéreo	12.81
Fibra	0.43

Fuente: Autor

Tabla 5. Evaluación de perfil de textura de muestras de descarnes sin tratamiento

PARÁMETRO ANALIZADO	VALOR
Dureza (Newton)	52.5
Adhesividad (joule)	2.132
Elasticidad (Newton)	1.623
Resistencia (adimensional)	0.283
Cohesividad (adimensional)	0.706

Fuente: Autor

La tabla 6, muestra los resultados obtenidos de la evaluación de humedad para los descarnes precalentados y sin precalentar, sometidos a tres concentraciones de enzima durante 1, 2 y 3 días.

Tabla 6. Valores de humedad arrojadas para los diferentes tratamientos.

TIEMPO (DÍAS)	HUMEDAD – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA					
	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)
1,00	82,57 ± 4,9 ^{a,A}	81,60 ± 0,4 ^{a,A}	80,70 ± 0,46 ^{a,A}	79,58 ± 1,8 ^{a,A}	77,17 ± 4,7 ^{a,A}	77,35 ± 0,9 ^{a,B}
2,00	80,93 ± 0,6 ^{a,A}	80,66 ± 5,6 ^{a,A}	78,84 ± 2,0 ^{a,A}	78,53 ± 0,0 ^{a,B}	76,11 ± 4,9 ^{a,A}	70,92 ± 8,6 ^{a,A}
3,00	77,12 ± 0,8 ^b	76,67 ± 1,1 ^{a,A}	77,66 ± 2,5 ^{a,A}	72,15 ± 3,0 ^{a,A}	74,60 ± 0,7 ^{a,A}	74,56 ± 0,3 ^{a,A}

A

En la variable porcentaje de humedad se observaron diferencias significativas en cuanto al factor tiempo para la concentración de enzima del 0,5% en la experimentación sin pretratamiento.

Así mismo para el factor concentración de enzima, también hubo diferencias significativas en las concentraciones de 1,5% del primer día y 0,5% del segundo día. El mayor valor obtenido estuvo en 82,57% y el menor en 76,67% para descarnes sin precalentamiento, mientras que para las muestras de descarnes sometidas a precalentamiento los resultados estuvieron entre el 70,52 y 79,58% menor y mayor valor respectivamente. La humedad se vio ligeramente disminuida sobre todo en el tercer día de tratamiento, esta pérdida de humedad pudo ser debido que el agua contenida en el los descarnes se evaporó, además del agua que se encontraba ligada a las proteínas como el colágeno, que al ser hidrolizado por la acción enzimática rompiendo los enlaces que estaban unidos al agua, permitió que esta se escapara. Estos resultados se asemejan a los reportados por Palacio (2016), en su estudio del “Diseño óptimo del proceso de extracción de grasa a partir del residuo de descarnes derivado del proceso de curtición”, donde obtuvieron valores de humedad del 88,54% para los descarnes en fresco.

En la tabla 7 se dan a conocer los resultados para la variable materia seca de las muestras analizadas.

Tabla 7. Valores de materia seca obtenidos para los diferentes tratamientos.

TIEMPO (DÍAS)	MATERIA SECA – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA					
	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0.5 % (p/v)	1.0 % (p/v)	1.5 % (p/v)	0.5 % (p/v)	1.0 % (p/v)	1.5 % (p/v)
1,00	20,42 ± 1,8 ^a A	22,83 ± 4,7 ^a A	22,65 ± 0,9 ^{a, A}	17,43 ± 4,9 ^a A	18,40 ± 0,4 ^{a, A}	19,30 ± 0,46 ^{a, B}
2,00	21,47 ± 0,0 ^a A	23,89 ± 4,9 ^a A	29,08 ± 8,6 ^{a, A}	19,07 ± 0,6 ^{a, B}	19,34 ± 5,6 ^a A	21,16 ± 2,0 ^{a, A}
3,00	27,85 ± 3,0 ^b A	25,40 ± 0,7 ^a A	25,44 ± 0,3 ^{a, A}	22,88 ± 0,8 ^a A	23,33 ± 1,1 ^{a, A}	22,34 ± 2,5 ^{a, A}

En el caso del porcentaje de materia seca obtuvieron unos resultados diferentes estadísticamente hablando para el factor pretratamiento (precalentados o sin precalentar) en las muestras con concentración de enzima del 1,5% del primer día y 1,5%, del segundo día, lo cual coincide con las diferencias obtenidas para la variable humedad. Estos resultados son importantes debido que es necesario considerar los cambios en materia seca porque la ración en base fresca o

húmeda puede cambiar en la dieta de un animal y esta se debe ajustar para asegurar que los animales están recibiendo la cantidad de nutrientes necesarios recomendados.

Los resultados obtenidos para el porcentaje de cenizas se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Valores de cenizas para los diferentes tratamientos.

TIEMPO (DÍAS)	CENIZAS – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA					
	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)
1	8,74 ± 0,94 ^a A	8,18 ± 1,37 ^{a,A}	9,38 ± 1,70 ^{a,A}	8,07 ± 0,10 ^{a,A}	9,45 ± 0,76 ^{a,A}	10,09 ± 0,29 ^{a,A}
2	8,90 ± 3,15 ^{a,A}	10,42 ± 6,03 ^{a,A}	9,58 ± 1,24 ^{a,A}	9,62 ± 1,30 ^{a,A}	11,73 ± 2,10 ^{a,A}	12,17 ± 4,88 ^{b,A}
3	10,09 ± 1,84 ^a A	10,49 ± 3,29 ^{a,B}	11,92 ± 0,50 ^{a,A}	10,31 ± 1,19 ^{a,A}	12,33 ± 3,68 ^{a,B}	12,77 ± 3,16 ^{b,A}

Para el porcentaje de cenizas se encontraron diferencias significativas en cuanto al tiempo en la concentración de enzima del 1,5 % del primer día y tercer día. El mayor valor obtenido estuvo en 12,77 % de cenizas mientras que el menor estuvo alrededor de los 8,07%, este último muy parecido a los valores mencionados por Coba y Yáñez (2017), en su investigación referente al estudio y diseño de un proceso para la recuperación del sebo, de la operación de descarnado y obtención de detergentes de uso industrial, donde obtuvieron datos para porcentaje de cenizas del 6, 15% para los descarnes.

Los resultados de proteína obtenidos para cada tratamiento se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Valores de proteína obtenidos para los diferentes tratamientos.

TIEMPO (DÍAS)	PROTEÍNA – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA					
	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)
1	46,76 ± 0,94 ^{a,A} [a]	49,28 ± 3,40 ^{a,A} [a]	50,69 ± 2,87 ^{a,A} [a]	64,08 ± 3,31 ^{a,B} [a]	52,57 ± 4,13 ^{a,A} [b]	45,62 ± 2,60 ^{a,A} [b]
2	45,10 ± 1,41 ^{a,A} [a]	37,31 ± 2,06 ^{b,A} [b]	37,98 ± 3,01 ^{b,A} [b]	54,82 ± 2,60 ^{b,B} [a]	46,09 ± 4,88 ^{a,A} [a]	45,16 ± 2,40 ^{a,B} [a]
3	37,67 ± 0,01 ^{b,A} [a]	33,03 ± 1,43 ^{b,A} [b]	21,67 ± 0,98 ^{c,A} [c]	43,64 ± 3,41 ^{c,B} [a]	42,01 ± 3,83 ^{a,B} [a]	32,82 ± 3,00 ^{b,B} [b]

En cuanto al factor tiempo se puede decir que la disminución en el porcentaje de proteína se debe al rompimiento de mayores enlaces peptídicos, liberando mayor número de aminoácidos, indicando así que el factor tiempo es fundamental en el accionar de la enzima (Del Pezo, 2018). En la variable proteína se encontraron diferencias significativas en todos los factores estudiados, estos resultados están directamente relacionados con el contenido de colágeno en los descarnes, debido a que estos residuos no son más que tejidos subcutáneos, formados por tejido adiposo, restos de tejido conjuntivo y muscular, ligamentos cutáneos, vasos sanguíneos y linfáticos que han quedado adheridos al desollar al animal (Coba y Yáñez, 2017). Indicando así que tienen un gran potencial nutricionalmente hablando para su aprovechamiento en la elaboración de otros subproductos que sirvan como alimentos de animales como en este caso se pretende con la babilla. Los valores de proteína obtenidos están entre 21,67-64,08%, considerablemente altos comparados con los bajos porcentajes entre 9 y 12 % reportados por Parada *et al.* (2018) y Coba y Yáñez (2017), y 5, 25% por Palacio (2016). Sin embargo, coinciden con valores obtenidos por Rojas (2010) con porcentajes de proteína de los descarnes del 23,5% y 25-50%, por consiguiente según sea la procedencia de las pieles estos resultados pueden variar, por lo que estos parámetros no deben ser generalizados, pero si tener presente una tendencia cuyo contenido cambia dependiendo de diversos factores como lo son la raza del animal, el sexo, alimentación, condiciones ambientales entre otros.

El porcentaje de grasa analizado en los diferentes tratamientos se representa como extracto etéreo y los valores obtenidos se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Valores de grasa obtenidos para los diferentes tratamientos.

TIEMPO (DÍAS)	EXTRACTO ETÉREO – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA					
	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)
1	13,59 ± 1,22 ^a A	15,43 ± 1,02 ^{a,A}	14,76 ± 1,44 ^{a,A}	10,78 ± 1,25 ^{a,A}	6,90 ± 0,42 ^{a,B}	10,88 ± 0,94 ^{a,A}
2	13,49 ± 0,77 ^a A	10,47 ± 0,33 ^{a,A}	12,22 ± 0,98 ^{a,A}	8,19 ± 0,10 ^{a,A}	6,86 ± 0,23 ^{a,A}	4,25 ± 0,40 ^{b,B}

3	11,63 ± 1,73 ^a	10,41 ± 1,07 ^{a,A}	4,94 ± 0,28 ^{b,A}	4,28 ± 0,55 ^{a,B}	6,33 ± 0,45 ^{a,A}	2,72 ± 0,39 ^{b,B}
----------	---------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

A

En las muestras se encontraron diferencias significativas con respecto al tiempo y al pretratamiento, evidenciándose una disminución sobre todo en los tratamientos que fueron sometidos a precalentamiento, posiblemente sucede que al someter los residuos a temperaturas superiores a la temperatura ambiente permite que la grasa contenida escape de la estructura de estos residuos. Sumado a esto, la reducción de tamaño de las muestras, para efectos de mejor manejo en la realización del experimento, aumentó su superficie de contacto lo cual facilitó altas pérdidas de grasa durante el precalentamiento (40°C). Los valores de grasa obtenidos estuvieron entre el 2,12% y el 15,43% que coinciden con los obtenidos por Parada *et al.* (2018), Coba y Yáñez (2017), y Palacio (2016), donde presentan valores de porcentaje de grasa del 3,91% 2,89% y 2,89% respectivamente. Estos valores de grasa obtenidos en el desarrollo de la investigación fueron relativamente bajos con relación a la muestra patrón donde se obtuvieron porcentajes de grasa del 12,84%, esto debido a que las muestras se tomaron en fresco y no se almacenaron para realizar el análisis.

Los contenidos de fibra se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Valores de fibra obtenidos para los diferentes tratamientos.

TIEMPO (DÍAS)	FIBRA – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA					
	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)
1,00	0,49 ± 0,08 ^{a, A, [a]}	0,46 ± 0,02 ^{a, A, [a]}	0,41 ± 0,04 ^{a, A, [a]}	0,47 ± 0,03 ^{a, A, [a]}	0,33 ± 0,03 ^{a, B, [a]}	0,41 ± 0,01 ^{a, A, [a]}
2,00	0,46 ± 0,03 ^{a, A, [a]}	0,29 ± 0,01 ^{a, A, [a]}	0,31 ± 0,07 ^{a, A, [a]}	0,42 ± 0,03 ^{a, A, [a]}	0,33 ± 0,03 ^{a, A, [a]}	0,36 ± 0,02 ^{a, A, [a]}
3,00	0,43 ± 0,03 ^{a, A, [a]}	0,26 ± 0,02 ^{a, A, [b]}	0,27 ± 0,08 ^{a, A, [b]}	0,23 ± 0,05 ^{a, A, [a]}	0,23 ± 0,02 ^{a, A, [a]}	0,11 ± 0,04 ^{b, B, [a]}

El contenido de fibra arrojó resultados diferentes estadísticamente significativos con relación al tiempo para la concentración de enzima del 1,5 % en el tercer día con respecto a los demás. Así mismo se mostraron diferentes los resultados del contenido de fibra en cuanto al pretratamiento para las muestras precalentadas a 40°C. Los valores en el porcentaje de fibra

obtenidos para las muestras de descarnes sometidas a tratamiento estuvieron entre el 0,11-0,49%, valores que no se consideran importantes debido a que son muy bajos.

Para los valores de pH obtenidos se encontró que existen diferencias significativas con relación al tiempo, entre el primer y tercer día de tratamiento para las muestras con precalentamiento a una concentración de enzima del 1,5% y con respecto al factor pretratamiento hay diferencias entre las muestras de descarnes precalentados y sin precalentar en el primer día de la concentración de enzima de 0,5% y el tercer día de la concentración del 1,0%. Esto se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Valores de pH para los diferentes tratamientos.

TIEMPO (DÍAS)	pH – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA					
	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)
1,00	7,90 ± 0,06 ^{a, A}	7,81 ± 0,08 ^{a, A}	7,78 ± 0,04 ^{a, A}	7,57 ± 0,03 ^{a, B}	7,68 ± 0,18 ^{a, A}	7,60 ± 0,03 ^{a, A}
2,00	7,64 ± 0,02 ^{a, A}	7,75 ± 0,19 ^{a, A}	7,57 ± 0,20 ^{a, A}	7,57 ± 0,51 ^{a, A}	7,42 ± 0,15 ^{a, b, A}	7,42 ± 0,24 ^{a, b, A}
					A	
3,00	7,62 ± 0,34 ^{a, A}	7,51 ± 0,07 ^{a, A}	7,33 ± 0,31 ^{a, A}	7,45 ± 0,35 ^{a, A}	7,23 ± 0,10 ^{a, B}	7,23 ± 0,01 ^{b, A}

Los valores de pH con respecto a la muestra patrón, mostraron una ligera disminución, esto concuerda con resultados obtenidos por Ketnawa & Rawdkuen (2011) en su estudio de Aplicación de extracto de bromelina para el ablandamiento de alimentos musculares, en el cual obtuvieron reducciones de pH en las carnes tratadas con la enzima, manifestando que la hidrólisis de las proteínas por parte de la enzima bromelina puede provocar la liberación de aminoácidos que pueden reducir el pH del sistema. El valor de pH más alto obtenido fue de 7,9, mientras que el valor de pH más bajo fue de 7,23. Este parámetro resulta muy importante porque tiene una influencia fundamental en otras propiedades tales como la capacidad de retención de agua CRA. Sin embargo, otros autores difieren de nuestros resultados obtenidos como por ejemplo Gélvez et al., (2006), que trataron carnes con bromelina y papaína donde los valores de pH se incrementaron entre 3.98% a 20.30% y 2.48% a 16.84%, respectivamente en un intervalo de 72 a 120 horas.

Los resultados de la evaluación fisicoquímica indican que estos residuos presentan interesantes valores en los contenidos de proteína (de hasta el 64%), que los hacen susceptibles de ser utilizados para la elaboración de subproductos como harinas o concentrados para animales, debido a que poseen unos niveles de proteína superiores a los encontrados en harina de carne del 40% por Beltrán y Perdomo (2007) y cumpliendo con lo exigido por la Norma Técnica Colombiana NTC 646, sobre harina de pescado, donde se establece un mínimo de 56% de proteína. Estas harinas podrían usarse en la dieta de animales de especies como la babilla (*Caimán crocodilus fuscus*) que según Puerta (2009) bajo condiciones de confinamiento basan su alimentación en el consumo de proteína animal, que compite con la alimentación humana como pollos, hígados de res y de caballo entre otros. Esto a su vez les permite a los curtidores integrar estos residuos a la cadena de valor, pero sobre todo dar solución a un problema ambiental que preocupa a los propietarios de las curtiembres y que aqueja a las comunidades aledañas debido a las consecuencias sufridas por la mala disposición que realizan de estos residuos que como se mencionó al inicio de esta investigación necesitan de una solución por parte de los responsables de su generación. El transformar este residuo supondría un beneficio ambiental focalizado en la minimización de la cantidad de desechos sólidos producidos, recordando que este residuo es el que se produce en mayor proporción durante la curtición del cuero, aproximadamente un 22% de la piel se convierte en este residuo (ACUSAM, 2019), por lo que al ser integrado a otro proceso productivo, pasa de ser un residuo indeseable a convertirse en materia prima utilizable en otra industria. Además, se obtienen beneficios colaterales como son la desaparición de los malos olores, mejoramiento de la estética del paisaje y reducción de la contaminación de los recursos naturales.

6.3.2. Análisis del perfil de textura (TPA)

Los parámetros analizados en el análisis del perfil de textura fueron dureza, adhesividad, elasticidad, cohesividad y resistencia. De todos estos parámetros solo la dureza y cohesividad mostraron diferencias significativas en los parámetros analizados, más precisamente con respecto al factor tiempo. Los resultados para la variable cohesividad (adimensional) se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Valores de cohesividad en el análisis de perfil de textura realizado a los diferentes tratamientos.

TIEMPO (DÍAS)	TPA COHESIVIDAD – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA					
	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0.5 % (p/v)	1.0 % (p/v)	1.5 % (p/v)	0.5 % (p/v)	1.0 % (p/v)	1.5 % (p/v)
1	0,76 ± 0,00 a	0,63 ± 0,00 a	0,63 ± 0,03 a	0,65 ± 0,02 a	0,66 ± 0,01 a	0,67 ± 0,02 a
2	0,61 ± 0,02 b	0,62 ± 0,02 a	0,63 ± 0,05 a	0,60 ± 0,03 a	0,65 ± 0,01 a	0,65 ± 0,01 a
3	0,58 ± 0,03 b	0,63 ± 0,03 a	0,58 ± 0,03 a	0,58 ± 0,01 a	0,61 ± 0,01 a	0,55 ± 0,02 a

La cohesividad mostró poca variabilidad y se presentó diferencia significativa solo entre el primer y tercer día para las muestras sin precalentamiento con una concentración de enzima del 0,5%. El valor más alto obtenido fue de 0,76, mientras que el menor valor fue de 0,55. Este parámetro mide la “Fuerza” de los enlaces internos que mantiene la estructura de una muestra, representa la resistencia de un material a una segunda deformación con relación a como este se comportó en un primer ciclo de deformación (Torres et al., 2015). Estos valores cercanos a cero indican que la mayor cantidad de paredes celulares fueron rotas durante la primera compresión, resultados que coinciden con los obtenidos por Granados et al., (2014) en su estudio referente al Análisis de Perfil de Textura en Plátanos Pelipita, Hartón y Topocho, donde reporta valores de cohesividad entre 0, 67; 0,68; y 0,09.

Con relación al parámetro dureza, éste arrojó diferencias significativas con respecto al factor tiempo entre el primer y segundo día de tratamiento a una concentración de enzima del 0,5%; y entre el primer día con relación al segundo y tercer día de tratamiento a una concentración del 1% de enzima para las muestras que no fueron sometidas a precalentamiento. Para aquellas muestras que sí estuvieron sometidas a precalentamiento las diferencias significativas con respecto al factor tiempo se presentaron en el día tres con respecto al primer y segundo día que se mostraron iguales, esto a una concentración de enzima del 1%; además también hubo diferencias entre el primer y tercer día a una concentración de enzima del 1,5%.

El valor más alto de dureza se presentó para la muestra sin precalentamiento que fue analizada en el día uno a una concentración de enzima del 1,5% con un valor de dureza de 47,99 N (Figura 12), mientras que el menor valor se presentó al tercer día de tratamiento y una

concentración de enzima del 1,5 % para las muestras precalentadas a 40°C, con un valor de 19,08 N (Figura 13).

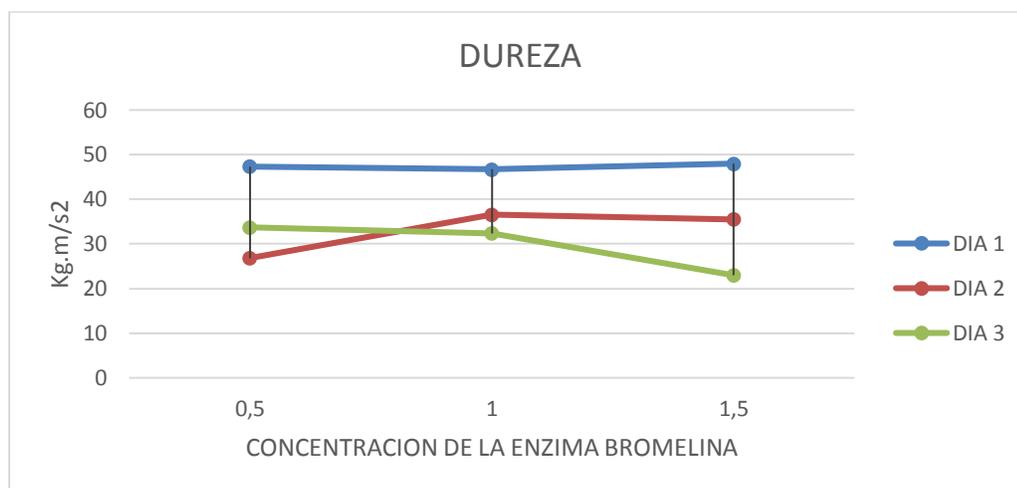


Figura 12. Comportamiento del parámetro Dureza de descarnes sin precalentar con respecto al tiempo y tres concentraciones de Bromelina.

Fuente: Autor

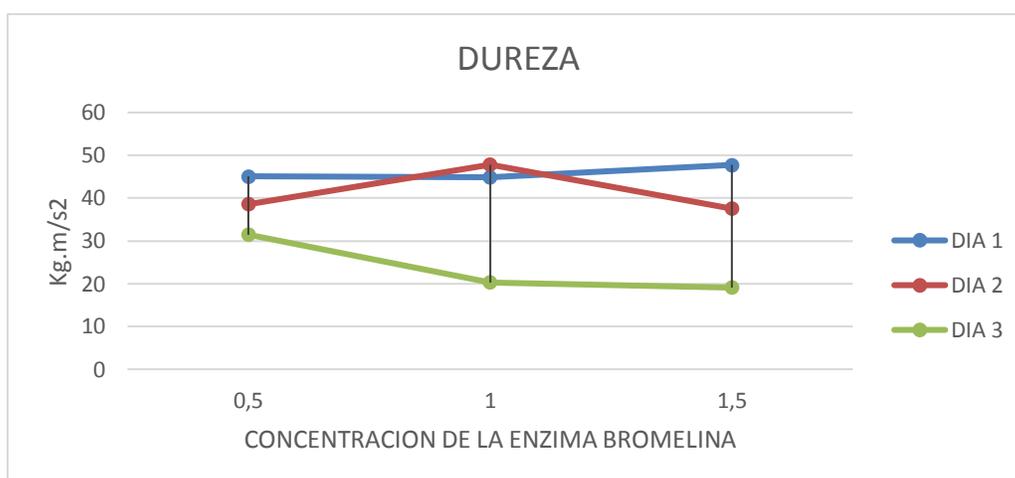


Figura 13. Comportamiento del parámetro Dureza de descarnes precalentados con respecto al tiempo y tres concentraciones de bromelina.

Fuente: Autor

A pesar de no presentarse diferencias estadísticamente significativas en los factores correspondientes a la concentración de enzima bromelina y al pretratamiento, se puede observar que estos valores de dureza fueron considerablemente disminuidos a medida que aumentaba la

concentración de enzima para ambos casos del factor pretratamiento, comparados con los resultados obtenidos para la muestra patrón que fue alrededor de 59,09 N (kg.m/s²), lo que equivale a una disminución en la dureza entre del 19,8%-66,9% que coincide y es algo superior a datos obtenidos por Ketnawa & Rawdkuen (2011) los cuales alcanzaron una reducción en la dureza de carnes de res, pollo y calamar, marinados con extracto de bromelina a diferentes concentraciones (0, 3%, 7%, 10% y 20% (p / p)) del 20%, 28% y 31% respectivamente. Así mismo Navarro y Argote (2009) reportan reducciones en la dureza de carne de bovina tratada con papaína (0,2%) una enzima también proteolítica, de características muy similares a la bromelina, en el orden del 38,7%-64,98% (20,29-29,9 N). otros resultados relacionados los presenta Marrasquin (2016) al evaluar las características fisicoquímicas de la carne vacuna, luego de ser tratadas con una mezcla de papaína y bromelina, encontrando que la bromelina tiene una mayor fuerza de acción sobre la dureza de la carne con respecto al efecto de la papaína, pero que, combinadas en iguales proporciones presentaron los mejores resultados con un 46% de reducción.

Esta reducción en los valores de dureza para los descarnes tratados con bromelina están relacionados con el contenido de colágeno en los residuos, puesto que una mayor cantidad de colágeno implica mayor dureza (Navarro y Argote, 2009), donde la enzima juega un papel fundamental debido a que según Ashie et al. (2002), la bromelina exhibe una acción hidrolítica más acentuada sobre el colágeno que sobre las proteínas miofibrilares. A pesar de no presentar diferencias significativas de la dureza en los análisis estadísticos con respecto a la concentración de enzima, si podemos notar como se mencionó anteriormente que en las concentraciones más altas de enzima bromelina aplicadas fueron menores estos valores de dureza, que de acuerdo con Ketnawa et al. (2010) en su estudio sobre hidrólisis del colágeno de piel de bovino y bagre gigante usando bromelina, esta hidrólisis dependió de la concentración de bromelina. Al aumentar la concentración de bromelina, se observó claramente una alta degradación del constituyente de colágeno. Así mismo Calkins y Sullivan (2007) reportan degradación del colágeno por parte de la bromelina de un 40 % en su estudio sobre adición de enzimas para mejorar la ternura de la carne.

Finalmente, los resultados obtenidos para el parámetro dureza evaluado nos indican que la enzima logró ablandar los residuos de descarnes de tal manera que permitan su manejo y posterior transformación. El tiempo fue fundamental en el accionar del enzima debido que a medida que

aumentó el tiempo de exposición de la enzima disminuyó la dureza presentada por las muestras de descarnes tratadas. Lo anterior nos indica que la enzima bromelina para el caso de esta investigación presentó una mejor degradación de las cadenas de proteínas con el aumento de la duración del tiempo, por su actividad proteolítica sobre los enlaces cruzados de las cadenas de colágeno. De esta manera, se rechaza la hipótesis nula que indica que la enzima bromelina no disminuye la dureza de residuos de descarnes descalcados para su aprovechamiento, y se acepta la hipótesis alternativa que indica que la enzima bromelina si disminuye la dureza de residuos de descarnes descalcados para su aprovechamiento. Por lo anterior podemos decir que el aprovechamiento de este residuo y su posible transformación en un subproducto cumple una doble función, por una parte, permite disponer de un suplemento proteico de elevado valor biológico y, por otra, se recicla un residuo potencialmente contaminante, cumpliendo así con los principios de Producción Más Limpia y a la vez eliminando el costo que supondría la disposición final de este desecho.

6.3.3. Capacidad de retención de agua CRA

Esta investigación también analizó la capacidad de retención de agua CRA de las muestras tratadas debido a la relación directa que tiene con la dureza de los mismos, los resultados están presentados en la Tabla 14.

La capacidad de retención de agua en los descarnes analizados solo presentó diferencias significativas entre el primer y tercer día de tratamiento para las muestras sometidas a precalentamiento y una concentración de enzima del 0,5%. Sin embargo, casi todas las muestras presentaron una disminución en este parámetro analizado en el rango del 1,32%-20%. Estos resultados coinciden con los reportados por Ketnawa & Rawdkuen (2011) en reducciones de la CRA para carne de res y pollo en el rango del 5%-30%, pero con una concentración de enzima del 3%. Esta disminución en la CRA en todas las muestras tratadas podría deberse a un pH más bajo. Esta caída del pH obtenido puede ser responsable de la reducción general de los grupos reactivos a proteínas disponibles para la retención de agua. Así mismo la desnaturalización del colágeno juega un papel importante en la determinación de CRA y podría ser la razón para reducir la CRA (Huff-Lonergan, 2005). Este parámetro es muy importante ya que muchas propiedades físicas

entre ellas la dureza dependen de la CRA. Sin embargo, a pesar de verse disminuida no se vio influenciado en el parámetro dureza evaluado en las muestras debido a que las reducciones en la CRA no fueron muy representativas.

Tabla 14. Resultados para la capacidad de retención de agua CRA de las muestras de descarnes tratadas

TIEMPO (DÍAS)	CRA – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA					
	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)	0,5 % (p/v)	1,0 % (p/v)	1,5 % (p/v)
1	59,72 ± 0,67 ^a	60,56 ± 0,18 ^a	56,83 ± 0,04 ^a	61,67 ± 0,44 ^a	59,72 ± 0,67 ^a	54,14 ± 0,60 ^a
2	58,33 ± 0,22 ^a	52,39 ± 0,09 ^a	54,77 ± 0,07 ^a	56,39 ± 0,29 ^a b	54,17 ± 0,22 ^a	53,90 ± 0,62 ^a
3	57,50 ± 0,61 ^a	56,00 ± 0,09 ^a	51,11 ± 0,92 ^a	51,11 ± 0,92 ^b	52,44 ± 0,14 ^a	49,52 ± 0,16 ^a

Fuente: autor

6.3.4. Análisis microbiológico

Los resultados de los análisis microbiológicos para las muestras sometidas a tratamiento se expresan en la tabla 6. Dado que en Colombia no existe una normativa que regule los límites permisibles en recuentos microbiológicos para las materias primas o alimentos animales de la especie *Caimán crocodilus fuscus* o Babilla, para desarrollar el análisis de cumplimiento de estos parámetros se tomaron los límites permisibles estipulados por el Instituto colombiano Agropecuario ICA en su documento titulado “Directivas técnicas de alimentos para animales y sales mineralizadas” de la división de insumos pecuarios, directiva DIP – 30 - 100 – 003, en la cual se establecen parámetros microbiológicos en alimentos para las especies avícola, bovina, canina, cunícola, felina, porcícola y piscícola. De acuerdo a esto y teniendo en cuenta que en la alimentación de esta especie exótica se utilizan residuos de aves como cabezas de pollo, hígados entre otros, se tomaron los valores de referencia mostrados en la Tabla 15 de acuerdo a las directivas técnicas de alimentos para animales y sales mineralizadas del Instituto Colombiano Agropecuario ICA.

Tabla 15. Límites permisibles en recuentos microbiológicos para alimentos de la especie avícola

PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS	UFC/g
Recuento microorganismos mesófilos	10x10 ⁵
Recuento microorganismos coliformes	10x10 ⁴
Recuento clostridios sulfito reductores	20x10 ¹
Recuento hongos	10x10 ⁴
Aislamiento <i>Salmonella spp</i> en 25 g	Ausente
Aislamiento <i>Escherichia coli</i>	Ausente

Fuente: ICA, 1999

Como se observa en la tabla 16, las muestras analizadas se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos para alimentación en el sector avícola, lo que nos permite establecer que los residuos objeto de estudio presentan buenas condiciones sanitarias por la ausencia de los microorganismos patógenos *Salmonella*, Coliformes totales, Coliformes fecales y *Listeria monocytogenes*, que son causantes de enfermedades asociadas con infecciones e intoxicaciones generadas por el consumo de alimentos contaminados (Fadul y Quecano, 2005), constituyéndose en una buena alternativa para darles valor agregado. Sin embargo, los recuentos de mesófilos superaron los límites, que puede ser debido malos manejos de la piel y el proceso de descarnado realizado en la curtiembre, relacionadas con acciones inadecuadas como dejar la piel o los residuos en el piso durante mucho tiempo, así como la presencia en el lugar en algunas ocasiones de animales domésticos que pueden hacer transferencia de este y otros microorganismos. Lo cual puede ser corregido con buenas prácticas durante el proceso de curtiembre y recolección de los descarnes.

Tabla 16 Resultados del análisis microbiológico de las muestras con tratamientos aplicados

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO								
Pretratamiento	Tiempo (días)	concentración de enzima	MICROORGANISMO					
			Aerobios mesófilos UFC/g	Coliformes totales	Muestras positivas para <i>Salmonella</i> spp	Muestras positivas para <i>Staphylococcus aureus</i>	Mohos UFC/g	Levaduras UFC/g
Sin pre-calentar	1	0,5	8,60E+05	3,00E+04	0	0	3,03E+04	<10
	2		6,80E+05	3,00E+04	0	0	3,00E+04	<10
	3		6,15E+05	2,87E+04	1	0	3,10E+04	<10
	1	1	3,00E+06	2,47E+04	0	0	5,60E+04	<10
	2		7,60E+05	3,10E+04	1	0	3,00E+04	<10
	3		6,78E+05	2,67E+04	0	0	3,10E+04	<10
	1	1,5	8,34E+05	2,48E+04	1	0	7,27E+04	<10
	2		6,75E+06	2,27E+04	0	0	3,00E+04	<10
	3		6,34E+05	3,09E+04	0	0	2,90E+04	<10
Pre-calentados	1	0,5	7,90E+05	2,44E+04	0	0	3,21E+04	<10
	2		7,56E+05	3,00E+04	0	0	3,00E+04	<10
	3		6,57E+05	2,47E+04	0	0	2,95E+04	<10
	1	1	7,65E+05	3,00E+04	0	0	5,44E+04	<10
	2		8,00E+05	3,00E+04	0	0	3,00E+04	<10
	3		6,89E+05	2,66E+04	0	0	3,00E+04	<10
	1	1,5	7,34E+05	3,00E+04	0	0	4,37E+04	<10
	2		7,36E+05	3,21E+04	0	0	3,00E+04	<10
	3		6,53E+05	3,09E+04	0	0	2,95E+04	<10

6.3.5. Capacidad tampón

Las dietas altas en concentrado contienen grandes cantidades de carbohidratos rápidamente fermentables, lo cual trae como consecuencia una serie de problemas o trastornos metabólicos: baja en pH, acidosis, menor producción de grasa y carne, reducción en la digestibilidad de la fibra, problemas que impactan directamente en la eficiencia productiva de los animales. Por lo anterior, se utilizan sustancias amortiguadoras que disminuyen estos efectos, no obstante para su aplicación en la elaboración de harinas y piensos para alimentación animal es necesario conocer la Capacidad tampón CT o capacidad amortiguadora CA de los ingredientes o materias primas de las cuales se elaborarán estas. Como parte de este estudio se evaluó también la capacidad amortiguadora CA o capacidad tampón CT de los residuos de descarnes como materia prima potencial para elaborar harinas para alimentación de animales más exactamente babillas. Se define la CT como la cantidad

de ácido o base requerida para producir un cambio en una unidad de pH de una muestra de alimento.

Los valores obtenidos para la CT presentaron diferencias significativas para todos los factores estudiados, siendo el mayor valor presentado de 20,72 y el menor valor de 10,54 (M-eq NaOH/100g ms) (Tabla 17). Estos valores se asemejan a datos expresados por Peña (2001) que reporta valores de CA de 28,06 y 48,01 para harinas de sangre y de pescado respectivamente. En contraste son significativamente bajos en relación a los reportados por Montañez (2006) que reporta valores de 106,31 y 116,47 para las mismas harinas. Estas diferencias pueden deberse a factores propios del mismo análisis en donde influyen también sobre la variación de la CA, por ejemplo, las diferencias en el tamaño de la muestra tratada, el tipo y volumen del líquido usado para suspender la muestra, el tipo de ácido o base usado en la titulación, el punto final de pH, el tipo de alimento titulado y la manera en la cual se expresaron los resultados (Wohlt et al. 1987). Tomando en cuenta los factores anteriores y algunos otros como el tamaño de partícula del alimento y su procesamiento, la capacidad amortiguadora de una dieta puede variar considerablemente, obteniéndose así diferencias en la respuesta animal, dada la diferencia en la capacidad amortiguadora natural de los ingredientes usados en la dieta. Finalmente, al tomar esto en consideración haría posible decir que el alimento que se podría elaborar con estos residuos requiere ser amortiguado y sería necesario realizar un análisis más profundo para determinar la concentración más adecuada del amortiguador a utilizar.

Tabla 17 Resultados de la capacidad tampón para los descarnes tratados.

TIEMPO (DÍAS)	CAPACIDAD TAMPÓN – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA					
	SIN PRECALENTAMIENTO (25°C)			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0.5 % (p/v)	1.0 % (p/v)	1.5 % (p/v)	0.5 % (p/v)	1.0 % (p/v)	1.5 % (p/v)
1,00	20,32± 0,97 ^a A, [a]	20,72± 0,06 ^a A, [a]	17,99 ± 0,23 ^a A, [a]	14,64 ± 0,07 ^a B, [a]	14,85 ± 0,11 ^a B, [a]	12,75± 0,22 ^a B, [a]
2,00	19,87± 0,63 ^a A, [a]	17,83± 0,30 ^a A, [a]	17,37± 0,22 ^a A, [a]	13,35 ± 0,75 ^a b, B, [a]	12,14 ± 0,63 ^a b, B, [a]	11,29 ± 0,15 a, B, [a]
3,00	19,36± 0,05 ^a A, [a]	17,34± 0,50 ^a A, [a]	17,34 ± 0,93 ^a A, [a]	11,88 ± 0,56 ^b B, [a]	10,95 ± 0,31 ^b B, [a]	10,54± 0,15 ^a B, [a]

Por otra parte todas las muestras tratadas con bromelina presentaron las mismas características en cuanto al olor, color y consistencia, los resultados fueron iguales como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Características organolépticas de los descarnes tratados.

CARACTERÍSTICA ORGANOLÉPTICA	MUESTRAS DE DESCARNES CON Y SIN PRECALENTAMIENTO CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ENZIMA.		
	DÍA 1	DIA 2	DIA 3
Color	varía de amarillenta- verdosa a grisácea-azulosa	varia de amarillenta- verdosa a grisácea-azulosa	varia de amarillenta- verdosa a grisácea-azulosa
Olor	Rancio	rancio, no agradable	rancio, no agradable
Consistencia	Pastosa	Pastosa	Pastosa a gelatinosa

Fuente: autor

7. Conclusiones

La biotransformación de los descarnes empleando Bromelina para su ablandamiento representa una alternativa viable para ser considerados como materia prima para la elaboración de subproductos como harinas en alimentación de babillas, suponiendo beneficios ambientales, debido a que de ser aprovechados lograrían reducir la cantidad de desechos producidos, impedir la acumulación y descomposición de 3,56 Ton/mes de descarnes en el municipio de Sampués, así como la desaparición de malos olores, generados por el almacenamiento, manipulación y mala disposición, de este residuo, y la presencia carroñeros, roedores, plagas, entre otros que anidan en los sitios donde permanecen estos residuos inadecuadamente, y que son vectores de enfermedades.

Los descarnes derivados del proceso de curtición desarrollado en Sampués – Sucre, contienen alto porcentaje de proteína y grasa haciéndolos susceptibles de aprovechamiento en la elaboración de dietas para especies de animales como la babilla, puesto que estos últimos tienen necesidades primordiales en el consumo de proteína animal, lo que permitiría ser considerados frente a otra materia prima que compite con la alimentación humana.

La evaluación de los resultados para el perfil de textura demostró que la aplicación de la enzima bromelina ejerce un efecto sobre la disminución de la dureza, provocando su ablandamiento al romper las cadenas peptídicas que componen el colágeno, de lo cual están mayormente constituidas estos residuos.

A pesar de haber cambios en la dureza de todos los tratamientos aplicados a las muestras de descarnes, el tratamiento con 1,5% de bromelina, con precalentamiento y tiempo de 3 días permitió establecer las mejores condiciones de ablandamiento de estos residuos.

El factor tiempo fue el que más diferencias significativas presentó entre los tratamientos, a diferencia de los factores concentración de enzima, y precalentamiento. Lo que quiere decir que fue fundamental para el accionar de la enzima, siendo el tercer día aquel que presentó las mejores reducciones de dureza en las muestras.

8. Referencias Bibliográficas

- ACUSAM. Asociación de Curtiembres de Sampués. 2005. Plan de Manejo Ambiental.
- ACUSAM-ASMITASAM. 2007. Plan de Negocios forjadores del sector Cuero en Sampués. Programa de Apoyo y Desarrollo del Microempresario Rural. PADEMÉR. Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural.
- Aguas Mendoza, Y., Olivero Verbel, R., Mercado Martínez, I., Cury Regino, K., Martínez Betancourt, C., & Paris Pérez, A. (2016). Análisis del tratamiento ideal usando baños termotratados para la separación de cal de los residuos de descarte en curtiembres. *Ingenierías USBMed*, 7(1), 20-25. <https://doi.org/10.21500/20275846.1809>.
- Adzet, J. 2003. Fundamentos de ingeniería ambiental (Aguas residuales de la industria de curtidos). Fundación universitaria iberoamericana. España.
- Alzate. 2004. Diagnóstico y estrategias proyecto gestión ambiental en el sector curtiembres. Centro Nacional de Producción y tecnologías ambientales.
- Alonso M, Ramírez C y Rigal L. 2012. Valorización de residuos agroindustriales del tequila para alimentación de rumiantes. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3):449-457.
- Ahmad, T., Ismail, A., Ahmad, S. A., Khalil, K. A., Awad, E. A., Leo, T. K., ... & Sazili, A. Q. (2018). Characterization of gelatin from bovine skin extracted using ultrasound subsequent to bromelain pretreatment. *Food hydrocolloids*, 80, 264-273.
- AOAC. 930.15/95. Official methods of analysis of the association of official analytical chemist 13. Washington, D.C. USA.
- AOAC 981.12/90. Official methods of analysis of the association of official analytical chemist 13. Washington, D.C. USA.
- AOAC 950.46/90. Official methods of analysis of the association of official analytical chemist 13. Washington, D.C. USA.
- AOAC 24.027/95. Official methods of analysis of the association of official analytical chemist 13. Washington, D.C. USA.
- AOAC 24.005/95. Official methods of analysis of the association of official analytical chemist 13. Washington, D.C. USA.

- AOAC 920.153/99. Oficial methods of analysis of the association of official analytical chemist 13. Washington, D.C. USA.
- AOAC 975.55/95. Oficial methods of analysis of the association of official analytical chemist 13. Washington, D.C. USA.
- Arango O y Sánchez L. 2009. Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(2):24-31.
- Ashie, I. N. A., Sorensen, T. L., & Nielsen, P. M. (2002). Effects of papain and a microbial enzyme on meat proteins and beef tenderness. *Journal of Food Science*, 67(6), 2138-2142.
- Dalgo V. 2012. Obtención de un concentrado con Bromelina a partir de piña (*Ananas comosus*), y determinación de su actividad enzimática en sustratos proteínicos (tesis de pregrado). Universidad técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
- Barragán B, Téllez Y Laguna A. 2008. Utilización de residuos agroindustriales. *Revista Sistemas Ambientales*, 2(1):44-50.
- Beghetto, V., Zancanaro, A., Scrivanti, A., Matteoli, U., Pozza, G. (2013). The Leather Industry: A Chemistry Insight. Part I: an Overview of the Industrial Process. *Sciences At Ca' Foscari*, 1(1), pp. 13–22.
- Beltrán, C., & Perdomo, W. (2007). Aprovechamiento de la sangre de bovino para la obtención de harina de sangre y plasma sanguíneo en el Matadero Santa Cruz De Malambo Atlántico. Universidad de la Salle Facultad de Ingeniería de Alimentos.
- Benomie M y Reyes M. 2012. Estrategia ambiental en el manejo de efluentes en la extracción de aceite de palma. *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 14(3):323-332.
- Cadenas, A., Cabezudo, S. 1998. Biofuels and sustainable technologies: Perspectives for less developed countries. *Technol. Forecasting & Social Change*. 58:83-103.
- Calkins, C. R., & Sullivan, G. (2007). Adding enzymes to improve beef tenderness. *Beef Facts Product Enhancement*, National Cattleman's Beef Association. Centennial Colorado: Cattlemen's Beef Board.
- Carrera, J. (2003). Producción y aplicación de enzimas industriales. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 1(1), 1-7.
- CENTRO NACIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA. 2004a. Proyecto gestión ambiental en la industria de curtiembre en Colombia. Sistema de referenciación ambiental para el sector

curtiembre en Colombia, Bogotá D.C. Disponible desde internet en: [http:// www. tecnologiaslimpias.org/curtiembres/diagnosticonacional. pdf](http://www.tecnologiaslimpias.org/curtiembres/diagnosticonacional.pdf) (con acceso 03/12/2013).

CENTRO NACIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2004b. Proyecto gestión ambiental en la industria de curtiembre en Colombia. Manual Ambiental Sectorial. Disponible desde internet en: [http://www. tecnologiaslimpias.org/curtiembres/manual.pdf](http://www.tecnologiaslimpias.org/curtiembres/manual.pdf) (con acceso 03/12/2013). Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR. (2002). Legalización Ambiental de las Industrias de Curtido de Pieles en Villapinzón, Choconta y Cogua. Bogotá: CAR.

Coma, J., & Companys, G. V. (2001). Control de Salmonella en carne de porcino: efecto de la alimentación animal. XVII Curso de Especialización Fedna. Madrid, 22.

Coba, L., Yáñez, M. (2017). Estudio y diseño de un proceso para la recuperación del sebo, de la operación de descarnado y obtención de detergentes de uso industrial en la curtiduría tungurahua s.a (tesis de pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Cury, K. 2004. Aguas residuales efluentes de procesos de curtiembre. Trabajo de grado. (Ingeniera Agroindustrial). Universidad de Sucre.

Del pezo. (2018). Determinación de la actividad proteolítica de la enzima bromelina obtenida de la corteza de Ananas comosus, sobre extracto acuoso de carne. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. La bioenergía y los biocombustibles. Vías de la sostenibilidad. <http://www.fao.org/3/ar589s.pdf>, consulta septiembre de 2018.

Fuentes L, Acevedo D y Gelvez M. 2015. Alimentos funcionales: impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 13(2):140-149.

González M. 2009. Producción de bioenergía en el norte de México: tan lejos y tan cerca. Frontera Norte, 21(41):177-183.

González D. 2013. Aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de alimentos funcionales: una aproximación desde la nutrición animal. Trabajo de grado, Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Antioquia.

- Gélvez, V., Vargas, M., Mesa, L., & Gomez, D. (2006). Determinación de propiedades fisicoquímicas de la carne de res mediante el uso de enzimas de papaína y bromelina. *Alimentech*, 4(2), 41-49.
- Guerrero R y Valenzuela L. 2011. Agroindustria y medio ambiente. Trilogía. Ciencia Tecnología Sociedad, 23(33):63-83.
- Granados, C., Acevedo, D., Cabeza, A., & Lozano, A. (2014). Análisis de perfil de textura en plátanos Pelipita, Hartón y Topocho. *Información tecnológica*, 25(5), 35-40.
- Hernández A, Real N, Delgado M, Bautista L y Velasco J. 2016. Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. *Agroproductividad*, 9(8):10-17.
- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat science*, 71(1), 194-204.
- Directivas técnicas de alimentos para animales y sales mineralizadas. (1999). Instituto colombiano agropecuario ICA.
- Ionescu, A., Aprodu, I., & Pascaru, G. (2008). Effect of papain and bromelin on muscle and collagen proteins in beef meat. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI--Food Technology*, 1(31).
- Jackson Montaña, A. M., Jurado Marín, V., & Coba Anzola, S. P. (2015). Diseño de un modelo de gestión para la mejora del proceso de direccionamiento estratégico de una planta de juguetes comestibles caninos.
- Jiménez, G., Afanador-Tellez, G., & Viorello-Cifuentes, J. (2006, June). Evaluación de la Inclusión de Harina Integral de Carne de Gallina de desecho en Alimentos Completos Balanceados para Neonatos de Babilla (*Caiman crocodilus fuscus*; Cope, 1868) y su Efecto sobre el Crecimiento y la Productividad en Cautiverio. In *Memorias de la Conferencia Interna en Medicina y Aprovechamiento de Fauna Silvestre, Exótica y no Convencional* (Vol. 2, No. 1, pp. 26-36).
- Jiménez I. 2009. Enzimas vegetales proteasas, aplicadas para el ablandamiento de carne (Bromelina, ficina y papaína) (Monografía). Universidad autónoma agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, México.
- Ketnawa, S., Rawdkuen, S., & Chaiwut, P. (2010). Two phase partitioning and collagen hydrolysis of bromelain from pineapple peel Nang Lae cultivar. *Biochemical Engineering Journal*, 52(2-3), 205-211.

- Ketnawa, S., & Rawdkuen, S. (2011). Application of bromelain extract for muscle foods tenderization. *Food and Nutrition Sciences*, 2(05), 393
- Laiz J, Tovar R, Durán M y Solís J. 2009. Aprovechamiento de residuos agroindustriales: producción de biodiésel por transesterificación alcalina de aceite crudo de “almendras” de zapote mamey (*Pouteria sapota*). *Tecnología Ciencia y Educación (IMIQ)*, 24(1):48-56.
- LOFRANO, G.; MERIÇ, S.; ZENGİN, G.E.; ORHON, D. 2013. Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review. *Sci. Total Environm. (Holanda)*. 461- 462:265-281.
- INVIMA. Manual de técnicas de análisis para control de calidad microbiológica de alimentos para consumo humano. Bogotá: INVIMA. 1998
- Mattey P, Robayo R, Díaz J, Delvasto S y Monzó J. 2015. Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agroindustrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 35(2):285-294.
- Montañez-Valdez, O. D., Barcena-Gama, R., Muñoz, S. S. G., Cerrilla, M. E. O., Cobos-Peralta, M. A., & Cevallos, J. H. A. (2006). Evaluación de la capacidad amortiguadora de ingredientes utilizados en la formulación de dietas para rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 07-10.
- Muñoz D, Cuatin M y Pantoja A. 2013. Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del Cauca, a partir del poder calorífico inferior. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2): 56 -163.
- Murillo E, Sánchez W y Méndez J. 2010. Potencial antioxidante de residuos agroindustriales de tres frutas de alto consumo en el Tolima. *Scientia et Technica*, 17(46):138-143.
- Navarro, Y. T., & Argote, H. (2009). Evaluación de los cambios producidos por el tiempo de aplicación de papaína en las propiedades de textura de la carne de bovino. @ limentech, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 8(1).
- Páez, D. (2010). Alternativa para el aprovechamiento del unche de la curtiembre Geca Tannery Ltda (tesis de pregrado). Fundación Universidad de América. Bogotá, Colombia.
- Palacio, L. F. C. (2016). Diseño óptimo del proceso de extracción de grasa a partir del residuo de descarte derivado del proceso de curtición. *Lámpsakos*, (16), 21-32.
- Parada, M., Andrade, M., Carreras, F., & Flores, B. (2018). Obtención de un tensoactivo a partir del proceso de recuperación de sebo de las industrias de curtiembre.

- Plá, M. (2000). Medida de la capacidad de retención de agua. In: Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiante. Ministerio de ciencia y tecnología. 175-179.
- Playne, M. J., & McDonald, P. (1966). The buffering constituents of herbage and of silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 17(6), 264-268.
- Plan de desarrollo municipal Sampués 2016 – 2019. (2016). “Unidos haremos más desarrollo con compromiso social”. Alcaldía de Sampués- sucre.
- Peña Vázquez, R., Bárcena Gama, R., González Muñoz, S., Cobos Peralta, M., & Haro, J. H. (2001). Efecto de la capacidad tampón natural de la dieta en las variables de fermentación rumina y concentración de protozoarios en ovinos (No. TESIS.). Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Especialidad en Ganadería.
- Puerta, L. (2009). Comparación de dos diferentes dietas a partir de cabezas de pollo e hígado de equino y su efecto sobre la ganancia de peso y aumento de talla en neonatos del Caimán *crocodilus fuscus* (tesis de pregrado). Corporación universitaria lasallista. Caldas, Antioquia, Colombia.
- Rojas, F. (2010). Estudio económico-financiero del aprovechamiento de las grasas extraídas del residuo de descarte “unche” derivado del proceso de curtición en el municipio de villapinzon – Cundinamarca (tesis de maestría). Universidad nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Rosas D, Ortiz H, Herrera J y Leyva O. 2016. Revalorización de algunos residuos agroindustriales y su potencial de aplicación a suelos agrícolas. *Agroproductividad*, 9(8):18-23.
- Restrepo M. 2006. Producción más limpia en la industria alimentaria. *Producción + Limpia*, 1(1):87-101.
- Restrepo A, Rodríguez E y Manjarrés K. 2011. Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor agregado a partir de residuos agroindustriales. *Producción + limpia*, 6(2):47-57.
- Ramírez E. 2012. Producción de biogás a nivel de laboratorio, utilizando estiércol de ganado vacuno y residuos agroindustriales (torta de piñón, cascarilla de arroz y rumen de ganado vacuno) en la E. E. A. El Porvenir distrito de Juan Guerra. Trabajo de grado, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Salinas, P., & Gandhi, A. (2007). Estudio técnico-económico para la fabricación de Bromelina (Doctoral dissertation).

- Saval S. 2012. Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Bio-Tecnología*, 16(2):14-16. https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2012_V16_n2.pdf#page=14
- Serrat M, Ussemame C, Camacho M, Méndez A y Bermúdez R. 2016. Valorización de residuos agroindustriales ricos en pectinas por fermentación. *Tecnología química*, 36(1):5-19.
- Soto F. 2012. Análisis de la titularidad de los derechos de propiedad emanados de la captura de carbono por bosques en el marco de red. Trabajo de grado, Universidad de Chile, Santiago.
- Sullivan GA, Calkins CR (2010) Application of exogenous enzymes to beef muscle of high and low-connective tissue. *Meat Sci* 85(4):730–734. doi:10.1016/j.meatsci.2010.03.033.
- Torres, J. D., González-Morelo, K., & Acevedo, D. (2015). Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos. *Revista RECITEIA: Revisiones de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*, 14(2), 63-75.
- Valdés O y Palacios O. 2016. Evolución y situación actual de plantaciones para biocombustibles: perspectivas y retos para México. *Agroproductividad*, 9(2):33-41.
- Varnero M, Galleguillos K y Rojas R. 2011. Sistemas de compostaje para el tratamiento de alperujo. *Información Tecnológica*, 22(5):49-56.
- Wohlt, J. E., Jasaitis, D. K., & Evans, J. L. (1987). Use of acid and base titrations to evaluate the buffering capacity of ruminant feedstuffs in vitro. *Journal of Dairy Science*, 70(7), 1465-1470.
- Yepes S, Montoya L y Orozco F. 2008. Valorización de residuos agroindustriales, frutas, en Medellín y el sur del valle del Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 61(1):4422-4431.
- Yury Alexandra VARGAS CORREDOR1*, Liliana Ibeth PÉREZ PÉREZ. 2018. Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. Vol. 14 (1) 2018, 59-72. <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.3108>.

ANEXOS

Anexo A. Ficha de datos de seguridad de la enzima Bromelina



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 16.02.2017

Versión 1.2

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto

Artículo número	101661
Denominación	Bromelaína (de ananás) 2 unidades mAnson/mg para fines bioquímicos EC 3.4.22.32
Número de registro REACH	No hay disponible un número de registro para esta sustancia, ya que la sustancia o su uso están exentos del registro; según el artículo 2 del Reglamento REACH (CE) núm. 1097/2006, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior.
No. CAS	9001-00-7

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados	Investigación y análisis bioquímicos Para informaciones adicionales a usos refiérase al portal Merck Chemicals (www.merckgroup.com; for USA/Canada www.emdgroup.com).
--------------------	--

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía	Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Alemania * Tel: +49 6161 72-0
Departamento Responsable	manuel.caceres@merckgroup.com; Tel: 4264770 Ext. 6301
Representante regional	Merck S.A. Calle 10 No. 66-28 Bogotá D.C. Colombia Tel: 4264747

Las Fichas de Datos de Seguridad para artículos del catálogo también se obtienen en www.merckgroup.com

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	101661
Nombre del producto	Bromelaína (de ananás) 2 unidades mAnson/mg para fines bioquímicos EC 3.4.22.32

Fax: 4265407

1.4 Teléfono de emergencia	Línea Salvavidas SISTEMA-SURA 018000941414 018000511414 4066911
----------------------------	--

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

Iritación cutáneas, Categoría 2, H315

Iritación ocular, Categoría 2, H319

Sensibilización respiratoria, Categoría 1, H334

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única, Categoría 3, Sistema respiratorio, H335

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

Pictogramas de peligro



Palabra de advertencia

Peligro

Indicaciones de peligro

H315 Provoca irritación cutánea.

H319 Provoca irritación ocular grave.

Las Fichas de Datos de Seguridad para artículos del catálogo también se obtienen en www.merckgroup.com

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo al Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número	101661
Nombre del producto	Bromelaína (de ananás) 2 unidades mAnson/mg para fines bioquímicos EC 3.4.22.32

H334 Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación.

H335 Puede irritar las vías respiratorias.

Consejos de prudencia

Intervención

P302 + P352 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes.

P304 + P340 EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar.

P306 + P361 + P353 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.

P342 + P311 En caso de síntomas respiratorios: Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico.

Etiquetado reducido (≤125 ml)

Pictogramas de peligro



Palabra de advertencia

Peligro

Indicaciones de peligro

H334 Puede provocar síntomas de alergia o asma o dificultades respiratorias en caso de inhalación.

Consejos de prudencia

P342 + P311 En caso de síntomas respiratorios: Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico.

No. CAS 9001-00-7

2.3 Otros peligros

Ninguno conocido.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

Naturaleza química Enzima proteolítico.
Calibrado con:

Anexo B. Resultados de análisis de perfil de textura para as muestras tratadas con bromelina

TPA DUREZA – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA						
(DÍAS)	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0.5 %	1.0 %	1.5 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
1	47,38 ± 0,52 ^a	46,74 ± 0,87 ^a	47,99 ± 0,51 ^a	45,08 ± 0,42 ^a	44,87 ± 0,52 ^a	47,76 ± 0,48 ^a
2	26,84 ± 0,42 ^b	36,57 ± 0,69 ^b	35,52 ± 0,06 ^a	38,60 ± 0,41 ^a	47,81 ± 0,10 ^a	37,53 ± 0,38 ^{a,b}
3	33,72 ± 0,38 ^{a,b}	32,37 ± 0,52 ^b	22,98 ± 0,64 ^a	31,45 ± 0,13 ^a	20,32 ± 0,54 ^b	19,08 ± 0,01 ^b

TPA ADHESIVIDAD – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA						
(DÍAS)	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0.5 %	1.0 %	1.5 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
1	-13,22 ± 0,74	-18,52 ± 0,50	-18,30 ± 0,58	-8,53 ± 0,86	-16,01 ± 0,01	-26,77 ± 0,86
2	-2,05 ± 0,6	-10,92 ± 0,72	-11,12 ± 0,11	-9,35 ± 0,34	-30,82 ± 0,29	-21,27 ± 0,34
3	-16,03 ± 0,60	-14,15 ± 0,12	-16,28 ± 0,28	-13,02 ± 0,62	-15,39 ± 0,44	-21,16 ± 0,62

TPA ELASTICIDAD – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA						
(DÍAS)	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0.5 %	1.0 %	1.5 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
1	0,83 ± 0,04	0,84 ± 0,05	1,19 ± 0,34	0,91 ± 0,07	0,91 ± 0,16	0,93 ± 0,04
2	0,86 ± 0,07	0,91 ± 0,11	1,06 ± 0,28	0,89 ± 0,11	0,96 ± 0,20	0,96 ± 0,01
3	0,79 ± 0,5	0,80 ± 0,02	0,77 ± 0,09	0,85 ± 0,10	0,84 ± 0,05	0,89 ± 0,09

TPA RESISTENCIA – TRATAMIENTOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BROMELINA						
(DÍAS)	SIN PRECALENTAMIENTO			CON PRECALENTAMIENTO (40°C)		
	0.5 %	1.0 %	1.5 %	0.5 %	1.0 %	1.5 %
1	0,22 ± 0,00	0,25 ± 0,00	0,24 ± 0,03	0,23 ± 0,02	0,25 ± 0,01	0,24 ± 0,02
2	0,22 ± 0,02	0,24 ± 0,02	0,22 ± 0,05	0,22 ± 0,03	0,25 ± 0,01	0,23 ± 0,01
3	0,21 ± 0,03	0,23 ± 0,03	0,21 ± 0,03	0,21 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,21 ± 0,02

Anexo C. Análisis de varianza de variables analizadas

Humedad

La procedura GLM

Variabile dipendente: HDAD

Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Valore F	Pr > F
Modello	17	519.6071481	30.5651264	2.72	0.0057
Errore	36	404.3544667	11.2320685		
Totale corretto	53	923.9616148			

R-quadro	Var coeff	Radice dell'MSE	Media di HDAD
0.962369	4.315966	3.351428	77.65185

Origine	DF	SS Tipo I	Media quadratica	Valore F	Pr > F
TEMP	1	213.4475852	213.4475852	19.00	0.0001
ENZ	2	30.0682704	15.0341352	1.34	0.2750
TIME	2	171.8338926	85.9169463	7.65	0.0017
TEMP*ENZ	2	4.6104481	2.3052241	0.21	0.8154
TEMP*TIME	2	6.5302481	3.2651241	0.29	0.7495
ENZ*TIME	4	66.3349185	16.5837296	1.48	0.2297
TEMP*ENZ*TIME	4	26.7817852	6.6954463	0.60	0.6678

Materia secca

La procedura GLM

Variabile dipendente: MS

Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Valore F	Pr > F
Modello	17	519.6071481	30.5651264	2.72	0.0057
Errore	36	404.3544667	11.2320685		
Totale corretto	53	923.9616148			

R-quadro	Var coeff	Radice dell'MSE	Media di MS
0.962369	14.99645	3.351428	22.34815

Origine	DF	SS Tipo I	Media quadratica	Valore F	Pr > F
TEMP	1	213.4475852	213.4475852	19.00	0.0001
ENZ	2	30.0682704	15.0341352	1.34	0.2750
TIME	2	171.8338926	85.9169463	7.65	0.0017
TEMP*ENZ	2	4.6104481	2.3052241	0.21	0.8154
TEMP*TIME	2	6.5302481	3.2651241	0.29	0.7495
ENZ*TIME	4	66.3349185	16.5837296	1.48	0.2297
TEMP*ENZ*TIME	4	26.7817852	6.6954463	0.60	0.6678

Cenizas

La procedura GLM

Variabile dipendente: CNZ

Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Valore F	Pr > F
Modello	17	519.6071481	30.5651264	2.72	0.0057
Errore	36	404.3544667	11.2320685		
Totale corretto	53	923.9616148			

R-quadro	Var coeff	Radice dell'MSE	Media di CNZ
0.562369	14.99645	3.351428	22.34815

Origine	DF	SS Tipo I	Media quadratica	Valore F	Pr > F
TEMP	1	213.4475852	213.4475852	19.00	0.0001
ENZ	2	30.0682704	15.0341352	1.34	0.2750
TIME	2	171.8338926	85.9169463	7.65	0.0017
TEMP*ENZ	2	4.6104481	2.3052241	0.21	0.8154
TEMP*TIME	2	6.5302481	3.2651241	0.29	0.7495
ENZ*TIME	4	66.3349185	16.5837296	1.48	0.2297
TEMP*ENZ*TIME	4	26.7817852	6.6954463	0.60	0.6678

Proteína

La procedura GLM

Variabile dipendente: PROT

Origine	DF	Somma dei quadrati	Media quadratica	Valore F	Pr > F
Modello	17	4654.212817	273.777225	24.73	<.0001
Errore	36	398.465067	11.068474		
Totale corretto	53	5052.677883			

R-quadro	Var coeff	Radice dell'MSE	Media di PROT
0.921138	7.615924	3.326932	43.68389

Análisis de varianza

Origine	DF	SS Tipo I	Media cuadrática	Valore F	Pr > F
TEMP	1	755.255602	755.255602	68.23	<.0001
ENZ	2	847.618878	423.809439	38.29	<.0001
TIME	2	2424.598033	1212.299017	109.53	<.0001
TEMP*ENZ	2	98.955448	49.477724	4.47	0.0185
TEMP*TIME	2	35.774604	17.887302	1.62	0.2128
ENZ*TIME	4	181.801456	45.450364	4.11	0.0077
TEMP*ENZ*TIME	4	310.208796	77.552199	7.01	0.0003

Extracto etéreo

Procedimiento GLM

Variable dependiente: EE

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	770.788848	45.340520	6.62	<.0001
Error	34	232.796050	6.846943		
Total corregido	51	1003.584898			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	EE Media
0.968036	28.31831	2.616666	9.240192

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TEMP	1	335.3211141	335.3211141	48.97	<.0001
ENZ	2	40.8060999	20.4030499	2.98	0.0642
TIME	2	252.7097497	126.3548749	18.45	<.0001
TEMP*ENZ	2	1.8954828	0.9477414	0.14	0.8712
TEMP*TIME	2	3.1576112	1.5788056	0.23	0.7953
ENZ*TIME	4	66.9769060	16.7442265	2.45	0.0652
TEMP*ENZ*TIME	4	69.9218843	17.4804711	2.55	0.0567

Fibra

Procedimiento GLM

Variable dependiente: FBA

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.61937436	0.03643379	2.39	0.0150
Error	34	0.51853333	0.01525098		
Total corregido	51	1.13790769			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	FBA Media
0.944310	35.59719	0.123495	0.346923

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TEMP	1	0.06851628	0.06851628	4.49	0.0414
ENZ	2	0.14005904	0.07002952	4.59	0.0172
TIME	2	0.27723801	0.13861901	9.09	0.0007
TEMP*ENZ	2	0.00365050	0.00182525	0.12	0.8876
TEMP*TIME	2	0.04918460	0.02459230	1.61	0.2143
ENZ*TIME	4	0.01714217	0.00428554	0.28	0.8882
TEMP*ENZ*TIME	4	0.06358376	0.01589594	1.04	0.3999

pH

Procedimiento GLM

Variable dependiente: pH

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	1.83980000	0.10822353	0.90	0.04757
Error	36	4.31400000	0.11983333		
Total corregido	53	6.15380000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	pH Media
0.898970	4.585027	0.346170	7.550000

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TEMP	1	0.51236296	0.51236296	4.28	0.0459
ENZ	2	0.25441111	0.12720556	1.06	0.3565
TIME	2	0.87787778	0.43893889	3.66	0.0356
TEMP*ENZ	2	0.02455926	0.01227963	0.10	0.9029
TEMP*TIME	2	0.00291481	0.00145741	0.01	0.9879
ENZ*TIME	4	0.06364444	0.01591111	0.13	0.9693
TEMP*ENZ*TIME	4	0.10402963	0.02600741	0.22	0.9272

Cohesividad

Procedimiento GLM

Variable dependiente: CHV

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.10644733	0.00626161	2.98	0.0029
Error	36	0.07555600	0.00209878		
Total corregido	53	0.18200333			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CHV Media
0.904865	7.304017	0.045812	0.627222

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TEMP	1	0.00036296	0.00036296	0.17	0.6800
ENZ	2	0.00259300	0.00129650	0.62	0.5448
TIME	2	0.05730744	0.02865372	13.65	<.0001
TEMP*ENZ	2	0.00833070	0.00416535	1.98	0.1522
TEMP*TIME	2	0.00209804	0.00104902	0.50	0.6108
ENZ*TIME	4	0.02322689	0.00580672	2.77	0.0420
TEMP*ENZ*TIME	4	0.01252830	0.00313207	1.49	0.2250

Dureza

Procedimiento GLM

Variable dependiente: DUR

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	4948.950704	291.114747	3.97	0.0002
Error	36	2641.707733	73.380770		
Total corregido	53	7590.658437			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	DUR Media
0.951979	23.27319	8.566258	36.80741

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TEMP	1	0.949363	0.949363	0.01	0.9101
ENZ	2	82.919070	41.459535	0.56	0.5733
TIME	2	3596.589526	1798.294763	24.51	<.0001
TEMP*ENZ	2	30.680248	15.340124	0.21	0.8123
TEMP*TIME	2	487.381526	243.690763	3.32	0.0475
ENZ*TIME	4	604.981007	151.245252	2.06	0.1064
TEMP*ENZ*TIME	4	145.449963	36.362491	0.50	0.7390

Resistencia

Variable dependiente: REST

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.01035659	0.00060921	1.30	0.2453
Error	36	0.01682800	0.00046744		
Total corregido	53	0.02718459			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	REST Media
0.910973	9.539999	0.021620	0.226630

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TEMP	1	0.00046230	0.00046230	0.99	0.3266
ENZ	2	0.00570504	0.00285252	6.10	0.0052
TIME	2	0.00344359	0.00172180	3.68	0.0350
TEMP*ENZ	2	0.00001659	0.00000830	0.02	0.9824
TEMP*TIME	2	0.00006626	0.00003313	0.07	0.9317
ENZ*TIME	4	0.00040863	0.00010216	0.22	0.9264
TEMP*ENZ*TIME	4	0.00025419	0.00006355	0.14	0.9680

Elasticidad

Procedimiento GLM

Variable dependiente: ELAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.52797748	0.03105750	1.61	0.1139
Error	36	0.69584133	0.01932893		
Total corregido	53	1.22381881			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ELAS Media
0.931418	15.46734	0.139029	0.898852

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TEMP	1	0.00131030	0.00131030	0.07	0.7961
ENZ	2	0.12801793	0.06400896	3.31	0.0478
TIME	2	0.15958859	0.07979430	4.13	0.0243
TEMP*ENZ	2	0.05422637	0.02711319	1.40	0.2590
TEMP*TIME	2	0.02866548	0.01433274	0.74	0.4835
ENZ*TIME	4	0.06917230	0.01729307	0.89	0.4772
TEMP*ENZ*TIME	4	0.08699652	0.02174913	1.13	0.3600

Adhesividad

Procedimiento GLM

Variable dependiente: ADH

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	2296.237165	135.072774	3.36	0.0511
Error	36	1448.900667	40.247241		
Total corregido	53	3745.137831			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ADH Media
0.913125	-40.37333	6.344071	-15.71352

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TEMP	1	290.2321500	290.2321500	7.21	0.0109
ENZ	2	794.0147704	397.0073852	9.86	0.0084
TIME	2	64.8276259	32.4138130	0.81	0.4548
TEMP*ENZ	2	159.7504000	79.8752000	1.98	0.1522
TEMP*TIME	2	413.2763444	206.6381722	5.13	0.0109
ENZ*TIME	4	406.4466519	101.6116630	2.52	0.0577
TEMP*ENZ*TIME	4	167.6892222	41.9223056	1.04	0.3993