

Universidad de San Buenaventura Cali



Una alternativa para el desarrollo
sostenible de la agroindustria

Carlos David Grande Tovar
- Compilador -

2015

Residuos animales y vegetales
Una alternativa para el desarrollo sostenible de la agroindustria



**UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA
CALI**

RESIDUOS ANIMALES Y VEGETALES

Una alternativa para el desarrollo
sostenible de la agroindustria

Carlos David Grande Tovar
(Compilador)

2015

Residuos animales y vegetales. Una alternativa para el desarrollo sostenible de la agroindustria

Residuos animales y vegetales. Una alternativa para el desarrollo sostenible de la agroindustria / Compilador Carlos David Grande Tovar.
— Cali : Editorial Bonaventuriana, 2015

134 p.

ISBN: 978-958-8785-66-0

1. Compostaje 2. Residuos agrícolas 3. Residuos vegetales 4. Residuos animales
5. Biotecnología 6. Aprovechamiento de residuos 7. Conversión de residuos
8. Tratamiento de residuos 9. Abono orgánico I. Tít.

631.875 (D 23)

R433

© Universidad de San Buenaventura Cali
 Editorial Bonaventuriana

***Residuos animales y vegetales.
Una alternativa para el desarrollo sostenible de la agroindustria***

© Compilador: Carlos David Grande Tovar.
Grupo de investigación: Biotecnología
Programa de Ingeniería Agroindustrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Buenaventura Cali

Universidad de San Buenaventura
Colombia

© Editorial Bonaventuriana, 2015
Universidad de San Buenaventura
Dirección Editorial de Cali
Calle 117 No. 11 A 62
PBX: 57 (1) 520 02 99 – 57 (2) 318 22 00 – 488 22 22
e-mail: editorial.bonaventuriana@usb.edu.co
www.editorialbonaventuriana.edu.co
Colombia, Suramérica

Los autores son responsables del contenido de la presente obra.
Prohibida la reproducción total o parcial de este libro por cualquier medio, sin permiso escrito de la Editorial Bonaventuriana.

© Derechos reservados de la Universidad de San Buenaventura.

ISBN: 978-958-8785-66-0

Libro digital

Cumplido el depósito legal (ley 44 de 1993, decreto 460 de 1995
y decreto 358 de 2000)

2015

Contenido

Presentación	11
Aprovechamiento de residuos agroindustriales y sus efectos	13
– Introducción	13
– El concepto de residuo.....	14
– Residuos agrícolas	15
– Residuos de actividades ganaderas	15
– Residuos forestales	15
– Residuos industriales.....	15
– Inertes	15
– Tóxicos y peligrosos	15
– Residuos de actividades extractivas.....	15
– La materia orgánica en el sistema suelo–planta	16
– El compostaje como proceso básico de transformación	19
– Organismos que intervienen en el compostaje.....	20
– Consumidores primarios	20
– Consumidores secundarios	23
– Etapas en el proceso de compostaje.....	23
– Mesofílica.....	23
– Termofílica	24
– Enfriamiento	24
– Maduración.....	25
– Impactos ambientales causados por la gestión de residuos forestales, agrarios y ganaderos en plantas de compostaje	25
– Efectos de los lixiviados sobre el medioambiente	26
– Caracterización del lixiviado	27
– Tratamientos térmicos	27
– Tratamientos biológicos	28
– Tratamientos de membranas.....	28

– Tratamientos físicoquímicos	28
– El papel del compost dentro de la agricultura biológica	28
– Bibliografía	29
La gestión de la biomasa.	
Eje de la rentabilidad y sostenibilidad de la agroindustria	31
– Estudio de casos: caña y palma	32
– Desarrollo rural	32
– Conclusiones.....	33
Aprovechamiento de subproductos de origen pecuario	
y su importancia para Colombia	35
– Resumen	35
– Abstract	36
– Introducción	36
– Explotación del ganado en el mundo y en Colombia	37
– Rendimientos del ganado	39
– Subproductos de matadero	40
– Producción de harinas y grasas a partir	
de subproductos cárnicos.....	42
– Transformación por vía seca	42
– Transformación por vía húmeda.....	42
– Extracción de la grasa por disolventes orgánicos	42
– Aprovechamiento de la sangre	42
– Conclusiones.....	44
– Bibliografía	45
Aprovechamiento de los desechos de recursos pesqueros	
para la alimentación animal.....	47
– Resumen	47
– Introducción	47
– Desarrollo del trabajo	48
– Resultados	48
– Conclusiones.....	51
– Bibliografía	51
Aprovechamiento de subproducto de plátano	
en busca de alimentos funcionales.....	53
– Resumen	53
– Abstract	54
– Introducción	54
– Materiales y métodos	55

– Materia prima	55
– Extracción de almidón de plátano.....	56
– Obtención de maltodextrina	56
– Análisis químicos	56
– Análisis de color	57
– Analisis reológico.....	57
– Diseño experimental y análisis estadístico.....	57
– Resultados y discusión	57
– Análisis químicos.....	57
– Análisis de color y curvas de empastamiento.....	59
– Conclusión	60
– Bibliografía	60
Uso potencial de los subproductos de la agroindustria piscícola en Colombia	65
– Resumen	65
– Summary	66
– Introducción	66
– Innovación.....	67
– Fortalecimiento de la cadena productiva	68
– Generación de emprendimientos de base tecnológica	69
– Bibliografía	69
El fruto del ackee (<i>Blighia sapida</i>)	71
– Resumen	71
– Abstract	72
– Introducción	72
– Materia prima	73
– Diseño estadístico	74
– Resultados.....	75
– Conclusiones.....	75
– Bibliografía	76
Aprovechamiento de residuos agroindustriales proteicos como fuente de péptidos activos contra hongos y bacterias patógenos presentes en alimentos	79
– Resumen	79
– Introducción	80
– Materiales y métodos	82
– Microorganismos	82
– Fermentaciones.....	82

– Determinación de azúcares y ácidos orgánicos	83
– Análisis de resultados	83
– Actividad antifúngica	84
– Análisis HPLC	89
– Conclusiones.....	89
– Bibliografía	89
Valoración de residuos procedentes de la transformación agroindustrial del fique y las frutas	91
– Resumen	91
– Abstract	92
– Introducción	92
– Alternativa de valorización residuos del procesamiento del fique (<i>Furcraea gigantea</i>).....	93
– Alternativa de valorización de residuos procedentes de la industria de jugos y pulpas	93
– Conclusiones.....	94
– Bibliografía	95
Use of limestone in stabilization of liquid wastes with low buffering power in the anaerobic digestion.	
A practical and sheep option.....	97
– Abstract	97
– Introduction.....	98
– Wastewater from cassava starch extraction.....	98
– Vinasse from sugar cane production.....	99
– Brazilian legislation on treatment and use of liquid waste.....	101
– Systems suitable to the liquid waste treatment with high organic load and low buffering power	101
– Anaerobic digestion instability and its control with neutralizing agents	101
– Results of liquid residues with low buffering power neutralization by limestone.....	103
– Cassava wastewater.....	103
– Vinasse	104
– Role of calcium in the efficiency of anaerobic digestion of liquids waste.....	107
– Comparative advantages with the use of limestone	109
– Main conclusions	109
– References.....	110

Diseño de bioadsorbentes de metales pesados a partir de desechos de la cadena productiva de plátano.....	115
– Resumen	115
– Abstract	116
– Introducción	116
– Metodología experimental.....	117
– Obtención de bioadsorbentes.....	117
– Caracterización de bioadsorbentes.....	118
– Grado de hinchamiento y porcentaje de humedad.....	118
– Densidad de bulto.....	119
– Número de grupos funcionales.....	119
– Análisis infrarrojo por reflectancia difusa DRIFT.....	119
– Pruebas de adsorbentes para metales.....	119
– Resultados y discusión	120
– Isotermas de adsorción de freundlich para Cu^{+2} y Cr^{+3}	122
– Conclusiones.....	125
Valoración de cenizas de caldera del sector azucarero como producto cementicio	127
– Resumen	127
– Abstract	128
– Introducción	128
– Metodología.....	129
– Resultados.....	131
– Conclusiones.....	132

Presentación

El aprovechamiento de residuos agroindustriales es un foco de gran interés e importancia para el país y el mundo, pues permite disponer de manera adecuada los residuos de diferentes agroindustrias como materia prima para generar diversos productos de interés, disminuyendo así la contaminación y optimizando los procesos, con la consecuente mejora en la rentabilidad de las empresas.

Una disposición y aprovechamiento adecuados de los residuos provenientes del procesamiento de materias primas de origen biológico, hace de las agroindustrias entes más competitivos, lo cual se traduce en una mejora sustancial de su rentabilidad y en un impulso para la economía de las regiones en las que se asientan y para la productividad del país.

En septiembre de 2014, se llevó a cabo en Cali el Tercer Seminario Internacional de Agroindustria y Biotecnología y el Octavo Foro Agroindustrial, en las instalaciones de la Universidad de San Buenaventura, en un esfuerzo por integrar a profesionales, académicos, estudiantes y empresarios del sector alrededor de una temática de gran importancia para la región, el país y el mundo, como es el aprovechamiento de los residuos agroindustriales. Este espacio fue una oportunidad para llevar a cabo un intercambio de conocimientos en torno a investigaciones y experiencias a nivel mundial, que llevó al fortalecimiento de la interacción y la cooperación, así como a la divulgación de los conocimientos generados en las experiencias investigativas.

Para su organización, se unieron el programa de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de San Buenaventura Cali, los integrantes del grupo de investigación de biotecnología de la misma institución y los miembros de la Asociación Colombiana de Ingenieros Agroindustriales, voluntades que se materializaron en un seminario de talla internacional en el cual se presentaron ponencias orales de investigadores de diferentes lugares del mundo relacionadas con el aprovechamiento de los residuos agroindustriales y se llevaron a cabo debates

y discusiones alrededor de las experiencias evidenciadas y las necesidades más apremiantes de la región y del país.

Como resultado de esa experiencia nace el presente texto, el cual, mediante la exposición de artículos de diferentes autores, pone a disposición del lector las diferentes alternativas de aprovechamiento de los residuos y cómo promueven el desarrollo de una región y la integración de los diferentes actores de una cadena productiva.

En la primera parte se analizan los efectos que sobre la economía de un país conlleva una adecuada explotación de los residuos agroindustriales, para luego describir, en los capítulos siguientes, las diferentes formas de aprovechamiento de aquellos generados por las industrias pesquera, pecuaria, vegetal y frutal, particularmente, con especial énfasis en los residuos de las agroindustrias del plátano, la caña de azúcar y el fique.

Carlos David Grande Tobar

Aprovechamiento de residuos agroindustriales y sus efectos

Álvaro García O.*

Introducción

El uso y aprovechamiento de residuos agroindustriales cobra cada día mayor importancia como un medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes del suelo para favorecer el crecimiento de las plantas y mecanismo de devolución a la tierra de muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo. Estos materiales, al tiempo que mejoran las características físicas y previenen la erosión, reducen la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental y contribuyen a hacer más sostenible la agricultura al disminuir y eliminar el uso de agroquímicos, con el consiguiente efecto positivo sobre el medioambiente y la salud humana y animal.

La composición física de los residuos vegetales de tipo agroindustrial y agropecuario se puede aprovechar para disminuir en gran medida la presión sobre el ambiente, como soporte de actividades antrópicas. Mediante su uso en los procesos agrícolas se evitan efectos de contaminación ambiental y se reincorporan nutrientes vitales para el mantenimiento de la fertilidad de los suelos agrícolas. Es, asimismo, una alternativa de control biológico de plagas y enfermedades, lo cual disminuye el uso de agroquímicos y consecuentemente el impacto ambiental y social negativo que generan, específicamente en el componente de disposición final, como es el caso de las quemadas.

La fracción líquida que se obtiene del proceso de compostaje se conoce como lixiviados de compost, extractos de compost y té de compost, cuyos efectos

* Ph.D. Universidad Nacional, Palmira, Colombia.

son de importancia considerable. Estos materiales –producidos directamente en las pilas–, se caracterizan por una coloración oscura, son ricos en elementos nutritivos, contienen abundantes microorganismos y presentan como ventaja una densidad más uniforme. Tradicionalmente, los lixiviados son considerados fertilizantes líquidos orgánicos.

En la actualidad, muchos de estos materiales son utilizados para el control de plagas y enfermedades gracias a su gran abundancia y diversidad de microorganismos benéficos, razón por la cual no son considerados pesticidas. Así, el lixiviado que se produce al descomponerse el raquis de plátano se ha evaluado con éxito como fungicida para mildew polvoso en rosas. Otros lixiviados contienen químicos antimicrobianos que inhiben el crecimiento de hongos. Dada la gran variedad de lixiviados, es muy difícil determinar el tipo y número de microorganismos benéficos presentes en ellos.

El concepto de residuo

Se considera residuo cualquier materia derivada de actividades de producción y consumo que no implica valor económico para su poseedor. En los países desarrollados, el índice de consumo hogareño y general es mayor, por lo tanto hay una gran producción de residuos que causan problemas ambientales significativos. Al mismo tiempo, el agotamiento de los recursos naturales no renovables ha hecho que los residuos adquieran importancia y sean estudiados en búsqueda de opciones de uso como recursos o transformación a formas menos dañinas para el ambiente. En función del sector productivo que los origina, se pueden ubicar en dos grandes grupos:

1. Los producidos y derivados de la agricultura, la ganadería, las actividades forestales y las operaciones extractivas, como canteras y minas.
2. Los obtenidos del sector secundario y terciario, formados por residuos industriales y urbanos básicamente.

Es preciso determinar los efectos –beneficiosos o perjudiciales– de la adición a los suelos de los materiales residuales que se producen hoy día y en esta dirección son la agricultura y la gestión de los suelos los campos más importantes en los que se pueden aprovechar.

Dentro de estos grupos se incluyen residuos de diversas características, a saber, inorgánicos, orgánicos y mezcla de ellos, tóxicos o inertes, líquidos o sólidos, etc., los cuales se definen a continuación.

Residuos agrícolas

Constituidos por restos de cosechas y sus derivados. Son los más abundantes y dispersos y los de más difícil control.

Residuos de actividades ganaderas

Se dividen en residuos de cría, como excrementos, camas y lechos (de gran dispersión y difícil control), y residuos de industrias cárnicas (mataderos) y agroalimentarias: huesos, sangre, pellejos, etc. Son fácilmente controlables al tener una ubicación más específica.

Residuos forestales

Son los restos de la poda y de diversas labores de silvicultura. Su control es dudoso y se caracterizan por su amplia difusión. Cabe anotar que muchas especies foráneas sembradas en varias regiones del país, producen y liberan sustancias de características adversas para una agricultura posterior.

Residuos industriales

Inertes

Restos no peligrosos de industrias como acero, vidrios, cenizas, escorias, arenas, polvos de metales, abrasivos, materiales apagados, reciclaje de chatarras, etc. Su producción es proporcional al grado de industrialización y por tanto, cuanto mayor es el área de desarrollo industrial, mayores son sus efectos negativos.

Tóxicos y peligrosos

Restos y materiales que contienen sustancias que entrañan riesgo para la salud humana, tales como ácidos, residuos radiactivos, etc.

Residuos de actividades extractivas

- a. Residuos mineros y de canteras: escombros de minas y metalurgia.
- b. Residuos urbanos y asimilados: escombros de obras, lodos de depuradoras de aguas residuales (PTAR).

- c. Residuos domésticos (fundamentalmente basuras, papel, cartón, plásticos, textiles, maderas, gomas y enseres metálicos).

En muchas zonas, los mayores generadores son sectores como la ganadería y afines; en otras, las actividades mineras y de cantería. La generación de residuos por la agricultura es menor.

Los grupos que de manera aproximada recogen los procesos individuales que se aplican a estos materiales son: almacenamiento controlado, vertido incontrolado, inactivación e incineración, reciclaje y recuperación de materiales útiles.

Residuos compuestos en un 60 % o más por materiales de origen animal o vegetal, se consideran orgánicos. En general, son orgánicos los procedentes de actividades como la agricultura, la ganadería, las industrias agroalimentarias y afines (cárnicas, conservas, etc.); los derivados de mataderos y operaciones forestales; los residuos domésticos y los lodos de depuradoras de aguas residuales.

La materia orgánica en el sistema suelo-planta

Se entiende por suelo el medio natural no consolidado, formado por materiales inorgánicos y orgánicos. Su profundidad mínima es de diez centímetros, se encuentra sobre la corteza terrestre y es capaz de mantener el desarrollo de las plantas. Está formado por tres fases relacionadas entre sí: líquida, sólida y gaseosa.

La materia orgánica es una mezcla de residuos de plantas, animales y microorganismos en diferentes estados de descomposición, que se componen en su mayor parte de macromoléculas orgánicas (celulosa, hemicelulosa, lignina, carbohidratos complejos, proteínas, ácidos nucleicos, grasas, ceras, etc.) las cuales son transformadas y resintetizadas por la flora y la fauna del suelo o químicamente degradadas a compuestos orgánicos más sencillos (azúcares, péptidos, aminoácidos, etc.) (Bornemisza, 1982; Schnitzer, 2000).

Estos compuestos pueden ser mineralizados por la acción microbiana o bien reincorporados a los compuestos húmicos formados por polimerización biótica y abiótica de los restos vegetales de la degradación de la materia original. Dentro de los compuestos húmicos se distinguen ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, ello en función de sus propiedades y composición. Los diferentes reservorios de materia orgánica varían según su estabilidad y se pueden encontrar en diferentes proporciones (Angers y N'Dayegamiye, 1991).

Los procesos de humificación que soportan la materia orgánica fresca están constituidos por un sinnúmero de reacciones físicoquímicas y biológicas que actúan

en su transformación y conducen a la formación de un material relativamente estable denominado humus, resistente a la acción microbiana, de color oscuro y de naturaleza coloidal, en el que no se aprecia el material orgánico que le dio origen. Es considerado un proceso pedogenético en el que influyen los factores formadores del suelo (López y Cortés, 1978) y lento, ya que los compuestos húmicos son altamente complejos y la formación de enlaces con los componentes minerales del suelo (arcillas y óxidos) dificulta su mineralización (Ribo, 2003).

El mecanismo que rige la humificación en los suelos es la degradación oxidativa, que da lugar a estructuras organizadas reconocibles denominadas sustancias no húmicas y a materiales amorfos con alta transformación y color oscuro denominados sustancias húmicas (Schnitzer, 1967; Hayes, 1998; Aoyama, 2002).

En el suelo suceden simultáneamente la humificación y la mineralización, lo cual conduce a un estado de equilibrio húmico. La velocidad de ambos procesos depende fundamentalmente de la actividad biológica que en él se desarrolla y esta, a su vez, es función de las condiciones climáticas (temperatura y humedad), edáficas (porosidad, textura, estructura, permeabilidad, pH, contenido en elementos minerales, etc.) y de cultivo (secuencias de cultivo, laboreo, riegos, fertilización, medidas contra la erosión, etc.) (Ribo, 2003).

Las sustancias húmicas, sin importar de dónde sean extraídas y a pesar de su diversidad, mantienen condiciones de estructura química muy semejantes, pero claramente diferentes a cualquier tipo de sustancia de origen animal o vegetal que las haya originado (Mosquera, 2006).

La humificación es un proceso oxidativo en el que intervienen numerosos tipos de microorganismos, los cuales requieren una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido. Implica una etapa termofílica y la producción natural de fitotoxinas que se degradan en dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada y dispuesta para su empleo en agricultura sin resultados adversos.

Inicialmente, los carbohidratos y proteínas de fácil descomposición sirven como sustrato a microorganismos mesofílicos, cuya actividad causa aumento de la temperatura. Hay liberación de CO_2 y H_2O , lo cual reduce el contenido de carbono y el porcentaje de la fracción mineral tiende a aumentar. Bacterias y hongos son los organismos predominantes y el N-NH_4^+ prima sobre el N-NO_3 .

En la etapa termofílica, la temperatura supera los 45°C y comienza la degradación de moléculas de difícil descomposición, como celulosas, lignina, ceras, grasas y resinas. Dado que la actividad es máxima, se alcanzan altas temperaturas,

la liberación de CO_2 y H_2O , es intensa, se reduce el contenido de carbono del material en proceso y se eleva el contenido de minerales con respecto a la etapa anterior. En esta fase sigue predominando el N-NH_4^+ sobre el N-NO_3^- , pero de manera menos marcada que en la fase mesofílica inicial.

En condiciones aeróbicas y de humedad adecuada, la descomposición de las proteínas es rápida y se liberan nitratos como producto final. En ocasiones la cantidad producida es mínima, ya que ciertos aminoácidos y sales amoniacales son usados en los procesos de humificación o como alimento de los microorganismos en las descomposiciones que se producen a la par. Si las condiciones se tornan anaeróbicas, no hay nitrificación y el amoníaco y sus sales son los productos finales.

La descomposición de azúcares y almidones fácilmente hidrolizables o solubles, es un proceso relativamente rápido efectuado esencialmente por bacterias. En condiciones aeróbicas, los productos finales son dióxido de carbono y agua y en ausencia de oxígeno, la descomposición es incompleta y se produce una serie de productos intermedios como alcoholes, ácidos y gases combustibles (metano, hidrógeno y ácido sulfhídrico) de olor característico.

En condiciones normales, la celulosa y la hemicelulosa sufren cambios por acción de bacterias y hongos basidiomicetos, sin que lleguen a transformarse totalmente en CO_2 y H_2O . En medio aeróbico ácido, parte de la celulosa es atacada de manera lenta por algunos hongos y un gran porcentaje queda sin descomponerse. En condiciones anaeróbicas, la celulosa es abordada por bacterias, siempre y cuando la poca disponibilidad de nutrientes y un pH bajo no lo impidan. Como productos intermedios se forman alcoholes y ácidos solubles y metano e hidrógeno como producto final (Soltner, 1979).

La descomposición de la lignina es más difícil y lenta que otros compuestos aromáticos. En condiciones aeróbicas, es atacada por hongos y bacterias, pero llegar a una descomposición total. Es oxidada parcialmente y transformada en compuestos complejos de alto peso molecular, con incorporación de productos nitrogenados. En medio anaeróbico, no sufre alteración alguna, aunque la celulosa que lleva normalmente asociada se descompone con rapidez (Soltner, 1979).

La descomposición de los lípidos presenta el inconveniente de su insolubilidad en el medio esencialmente acuoso del residuo orgánico. Sin embargo, una vez se produce el drenaje y se supera esta situación, su descomposición por procesos hidrolíticos (saponificaciones), es versátil y rápida.

Los microorganismos nativos presentes en el suelo y en el ambiente son suficientes en número y variedad para la culminación exitosa del proceso de compostaje. La adición de inoculantes a base de microorganismos diversos –especialmente de los denominados eficientes– para acelerar el proceso, raramente cumple con este propósito.

Cabe anotar que cuando los factores ambientales son adecuados, los microorganismos podrían convertirse en un factor limitante. La adición de compost maduro como inóculo puede mejorar el proceso en virtud de los cambios provocados en las propiedades físicas y físicoquímicas, más que por el aporte de determinados microorganismos (Golueke, 1982).

El compostaje como proceso básico de transformación

El compostaje es una herramienta de la naturaleza para aumentar su capacidad de autodepuración, gracias a la actividad de microorganismos capaces de degradar la materia orgánica. Mediante su uso, se transforman residuos orgánicos de diferentes tipos y procedencias en un material rico en humus, que al ser aplicado a los suelos mejora sus propiedades físicoquímicas y agronómicas.

Este aprovechamiento es producto de la descomposición de residuos orgánicos por acción microbiana, la cual transforma su estructura molecular. El tiempo de degradación provee un grado de madurez determinado al llevar a cabo la biotransformación o degradación parcial (descomposición de un compuesto orgánico en otro similar) y la mineralización o degradación completa cuando las moléculas de dióxido de carbono se descomponen en su totalidad.

La biomasa microbiana mantiene la productividad del ecosistema al constituirse en un medio de transformación de los materiales orgánicos del suelo, independientemente de la función que desempeñen sus microorganismos constitutivos. A lo largo del tiempo, esta actividad contribuye a la fertilidad del suelo y al mejoramiento de sus características, lo que hace posible la estimación analítica ya que en la conformación de la estructura celular participan elementos como el carbono, el nitrógeno, el fósforo y el potasio, amén de otros menores que se pueden extraer a través de métodos químicos.

Así por ejemplo, el tratamiento de plantas con productos de origen natural, tales como los lixiviados de raquis de plátano, es una alternativa que se ha venido implementando en el control de la sigatoka negra con buenos resultados. Álvarez *et al*, (2001, 2010), encontraron reducciones significativas de

los daños producidos por esta enfermedad en plantas de plátano dominico hartón, tratadas con lixiviados al 10 %, 25 %, 50 % y 75 % de concentración. Los mismos autores descubrieron, igualmente, que el tratamiento con ácidos fúlvicos al 0,5 % da también resultados muy favorables, con la ventaja de que no contaminan el ambiente.

Organismos que intervienen en el compostaje

En el proceso de compostaje intervienen diversos grupos de macro y microorganismos que forman parte de un microhábitat, cuyas características son muy diferentes a las del entorno, lo que propicia la aparición de organismos adaptados a esas condiciones. Se clasifican según el nivel de la red trófica en el que se encuentren, de la siguiente manera:

Consumidores primarios

Consumen directamente materia orgánica muerta. Entre estos se encuentran los macroorganismos fermentadores, organismos visibles que consumen la materia orgánica directamente, tales como lombrices, moscas, ácaros de fermentación, cochinillas, caracoles, etc. Son más activos en las etapas finales del compostaje. Los más destacados son:

Lombriz roja

Entre las aproximadamente 8.000 especies conocidas de lombrices, la más popular es la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) debido a su longevidad (alrededor de dieciséis años) y prolificidad; consume diariamente una cantidad de residuos equivalente a su propio peso. Requiere altas concentraciones de materia orgánica como medio de vida y alimentación, por lo que no sobrevive mucho tiempo en suelos en la que esta es escasa.

Las condiciones ambientales para su óptimo desarrollo son: temperatura de 19 °C a 20 °C, una humedad del 80 %, pH de desarrollo entre 6,5 y 7,5 y baja luminosidad, ya que los rayos ultravioleta las matan. Se pueden emplear diversos desechos orgánicos, pero la preparación del sustrato alimentario debe ser muy cuidadosa para no perder nutrientes.

La temperatura influye en la reproducción, producción y fecundidad de las cápsulas. Esta debe fluctuar entre los 18 °C y los 25 °C para lograr el máximo rendimiento de las lombrices. Una temperatura inferior a 15 °C hace que entren en latencia.

La lombriz es un animal omnívoro y una sola produce unas 10.000 crías por año, las cuales a su vez, generan el 60 % de la ingesta en forma de humus. Cuando cava túneles en el suelo blando y húmedo, succiona la tierra y extrae de ella las partículas vegetales o animales en descomposición que le sirven de alimento y expulsa los elementos no digeribles y los residuos metabólicos, los cuales forman el humus.

Es el único animal en el mundo que no transmite ni padece enfermedades, pero padece de un desorden denominado síndrome proteico que le produce la muerte en pocas horas y es causado por el suministro de sustratos con alto contenido de proteínas, ya que no las puede asimilar.

Colémbolos

Son insectos pequeños, primitivos y de color blanco que se alimentan de materia orgánica en descomposición. Muy abundantes en el suelo, pero también los hay acuáticos. Son considerados junto con los ácaros, los macroorganismos más importantes en el procesado de la materia orgánica en el suelo.

Entre sus numerosas especies, algunas poseen coloraciones crípticas que las hace difíciles de ver y las defienden de depredadores. Precisan humedades muy elevadas, flotan en el agua y sus excrementos son consumidos por las lombrices.

Caracoles y babosas

Se mueven mediante la alternancia de contracciones y elongaciones lentas de su cuerpo. Producen una mucosidad que reduce la fricción y las protege de agresiones externas. Son hermafroditas, pero no pueden autofecundarse. Los huevos (hasta cien en cada puesta mensual) son enterrados bajo la capa fértil del suelo. Su concha crece cuando da comienzo la etapa reproductiva, para lo cual requiere gran cantidad de calcio y una humedad elevada. Son más abundantes en las zonas cálidas.

Aunque ayudan a la descomposición de la materia orgánica fresca su acción no es significativa. Tienen la desventaja de ser portadoras de parásitos que infectan a los animales que los ingieran. También pueden ser vectores de la gripe y de la gripe aviar.

Cochinillas

Son insectos de color gris y respiración branquial, razón por la cual solo puedan vivir en lugares muy húmedos. Su piel es rígida y actúa como esqueleto, por lo

cual sufren mudas en varias ocasiones a lo largo de su vida, que puede llegar hasta los dos años. Pueden criar varias veces por año.

Son importantísimas en el proceso de transformación de la materia orgánica del suelo. Al igual que las lombrices, además de la materia orgánica en descomposición pueden comer sus propios excrementos y los de otros organismos, lo que acelera su transformación y ayuda a conseguir compost de muy buena calidad en poco tiempo. Son totalmente inofensivos y son atacadas por numerosos predadores.

Mosca de la fruta o del vinagre

Es una mosca pequeña, con cabeza y tórax de color marrón claro, abdomen oscuro y ojos rojo brillante. La hembra pone cerca de 500 huevos en la superficie de frutas o sobre materia orgánica en descomposición. Las larvas se alimentan durante cinco o seis días y luego empupan. Se reproducen durante toda fase adulta (15–21 días) y los medios ácidos son propicios para su desarrollo, de modo que un proceso de descomposición sumado a un elevado grado de humedad es muy adecuado para su proliferación. Los adultos recién emergidos son atraídos por la luz.

Es una especie utilizada frecuentemente en experimentación genética, dado que posee un reducido número de cromosomas.

Mosca soldado negra

La forma adulta se asemeja a una abeja. No hacen ruido cuando vuelan, no muerden, no comen y no transportan ningún tipo de patógeno. Sus larvas tienen una longitud de uno a cuatro centímetros y un grosor de 0,5 mm. Presentan un color que va de blanquecino a marrón oscuro–negro.

Su ciclo de vida es de tres semanas. La incubación de los huevos es de tres a cuatro días luego de lo cual pasan a un estado larvario sin patas ni alas, solo con la boca en un extremo y una salida para el material predigerido en el otro. La larva madura cuando sus tejidos están desarrollados y ha almacenado suficientes reservas para iniciar la metamorfosis. La vida adulta es exclusivamente sexual, con una fase alada durante la cual ocurre el apareamiento y la oviposición.

Ácaros

Son parecidos a pequeñas arañas. Carecen de alas y antenas y tienen cuatro pares de patas. Son de vida libre y se alimentan de insectos, nemátodos, colémbolos y otros organismos del suelo. Se desplazan rápidamente.

Ciertas especies son altamente perjudiciales para los cultivos y otras, como las garrapatas, lo son para los animales, incluido el hombre. También hay especies saprófitas que se alimentan de restos de materia orgánica. Los microfitófagos se alimentan de hongos y bacterias, contribuyendo así a su dispersión y estimulando su crecimiento. Por su parte, los macrofitófagos lo hacen de vegetales muertos, incluida la madera.

Se los considera descomponedores primarios, puesto que son muy voraces y pueden llegar a digerir el 20 % de su peso al día. Además, dejan los restos orgánicos preparados para que puedan actuar los hongos y bacterias sobre ellos, puesto que los trituran y los degradan químicamente.

Consumidores secundarios

Ratón común

Es el mamífero terrestre con mayor número de individuos. Sus largos bigotes son sensibles al tacto y le proporcionan información sobre el medio. Utiliza la cola para orientarse, comer, luchar o conservar el equilibrio. Come restos de vegetales, carne, pescado y productos lácteos.

Su utilidad radica en que conservan aireados los compostadores al hacer los túneles por los que circulan. No es perjudicial en ninguna de las fases del proceso de compostaje.

Etapas en el proceso de compostaje

Mesofílica

El número de actinomicetos permanece bajo, pero abundan las bacterias y hongos mesofílicos tolerantes a las variaciones en el pH y la humedad del medio. Debido a su actividad metabólica, la temperatura alcanza los 40 °C y el pH disminuye desde la neutralidad hasta 5,5–6,0 debido a la descomposición de lípidos y glúcidos en ácidos pirúvicos y de proteínas en aminoácidos, lo que favorece su aparición. En esta etapa, la relación C/N es de especial importancia, ya que el carbono aporta energía a los microorganismos y el nitrógeno es esencial

para la síntesis de nuevas moléculas. Esta relación debe ser cercana a 30; si es mayor, la actividad biológica disminuye ya que provoca el agotamiento rápido del oxígeno y la pérdida del N-NH₄, tóxico para la población bacteriana. El olor es a frutas, verduras y hojas frescas.

La humedad y la ventilación de la pila o el compostador son esenciales para maximizar la actividad microbiana. La primera se debe mantener entre 40 %–60 %, ya que el agua permite la movilidad y distribución de nutrientes por la masa. La ventilación debe ser la correcta –sobre todo durante las tres primeras etapas– y con residuos densos y ricos en nitrógeno. Una ventilación excesiva puede secar demasiado la pila. Si la selección inicial del residuo no es la adecuada o el área superficial muy reducida debido al tamaño excesivamente grande de las partículas, la ventilación formará caminos preferenciales y otras zonas quedarán privadas de oxígeno.

Termofílica

Durante esta fase, la temperatura puede alcanzar valores cercanos a los 75 °C, lo que produce la muerte de bacterias y hongos mesófilos o llevarlos a un estado de dormancia. Por su parte, las bacterias y hongos termofílicos y actinomicetos encuentran estos niveles óptimos para su desarrollo y generan, incluso, más calor que los mesófilos.

La degradación de los ácidos obtenidos en esta etapa provoca el incremento del pH hasta un nivel de 7,5, en el cual permanecerá constante hasta el final del proceso. El color del material se torna oscuro paulatinamente y el olor original cambia a olor a tierra. Es en esta fase cuando da comienzo la esterilización del residuo debido a las altas temperaturas. La mayoría de las semillas y patógenos como *Escherichia coli* mueren al estar sometidos durante días a temperaturas superiores a los 55 °C.

Enfriamiento

Una vez que los nutrientes y la energía comienzan a escasear, la actividad de los microorganismos termofílicos disminuye y la temperatura en la pila desciende desde los 75 °C hasta la temperatura ambiente, provocando con ello la muerte de los anteriores y la reaparición de microorganismos mesofílicos. Cuando la temperatura disminuya a valores entre 40 °C y 45 °C, estos dominarán el proceso hasta que toda la energía sea utilizada.

Maduración

La temperatura y el pH se estabilizan. Los actinomicetos cobran especial importancia en la formación de ácidos húmicos y producen antibióticos que inhiben el crecimiento de bacterias y patógenos, al tiempo que macroorganismos como chinches, nemátodos, escarabajos, y lombrices, entre otros, se vuelven más activos y desempeñan función de remoción, excavación, molienda, masticación y ruptura física de los materiales, incrementando con ello el área superficial para permitir el acceso de los microorganismos. El color del producto final debe ser negro o marrón oscuro y su olor a tierra de bosque. En esta fase no es posible reconocer los residuos iniciales.

Impactos ambientales causados por la gestión de residuos forestales, agrarios y ganaderos en plantas de compostaje

En este aspecto es preciso considerar la producción de ruido y la emisión de olores debido a la generación de bioaerosoles, compuestos orgánicos volátiles y lixiviados con concentraciones importantes de látex, sustancias fenólicas y quinonas provenientes de la oxidación. En el proceso de transformación de los restos en compost, la materia orgánica se degrada y forma un líquido denominado lixiviado, cuya producción es acelerada por factores como la humedad de la materia orgánica. Su coloración es oscura y contiene gran cantidad de nutrientes y microorganismos.

La composición de un lixiviado depende de factores como el tipo de materiales que se sometan al proceso de compostaje, los procedimientos que se sigan, la temperatura, la humedad y el tiempo que se emplee. El lixiviado es un fertilizante líquido orgánico que actúa en el control de un amplio rango de plagas y enfermedades, como el tizón de la papa y el tomate, el mildew polvoso o el fusarium en el manzano.

Los lixiviados abundan en diversidad de microorganismos beneficiosos, cuyo objetivo es competir con otros por espacio, alimentación y sitio de infección (en el caso de microbios patógenos). Bacterias, hongos y protozoarios son componentes del compost que, junto con sustancias químicas como fenoles y aminoácidos, inhiben las enfermedades gracias a varios mecanismos, como el aumento en la resistencia de la planta a la infección, el antagonismo y la competición con el patógeno, entre otros. También se producen químicos con propiedades antimicrobianas que inhiben el crecimiento de hongos.

Una vez aplicado el lixiviado a la superficie de una hoja (normalmente no emiten olores desagradables), los microorganismos benéficos ocupan los nichos esenciales y consumen los exudados que los patógenos podrían absorber, interfiriendo así de manera directa en su desarrollo. Entre los efectos de los lixiviados para suprimir las enfermedades se tienen:

- Inhibición de la germinación de las esporas en plantas enfermas.
- Detención de la expansión de la lesión en la superficie de la planta.
- Competición con los microorganismos por alimento y nutrientes.
- Depredación de los microorganismos que causan la enfermedad.
- Eliminación de los organismos por la producción de antibióticos.
- Incremento de la salud de la planta y por ende, de su capacidad de defensa frente a las enfermedades.

En el vermicompostaje, las sustancias que se derivan de la descomposición de la materia orgánica en los primeros días de descomposición (lapso en el que se produce mayor concentración y volumen) pueden ser muy tóxicas para lombriz roja, razón por la cual se recomienda que en los primeros días del proceso no se añadan estos gusanos.

Para la conservación de lixiviados es importante que estos se encuentren en recipientes plásticos herméticos que impidan la entrada de patógenos o de luz solar.

Efectos de los lixiviados sobre el medioambiente

El lixiviado es un líquido de sales minerales y nutrientes concentrados. De su uso pueden derivar problemas como:

- Emisiones de gases a la atmósfera, constituidas principalmente por CO, CO₂, (específicamente en el proceso de secado térmico), SO_x, NO_x, partículas contaminantes sedimentables y en suspensión, hollín, benceno y fenoles. La calidad del aire disminuye (malos olores) por emisión de compuestos volátiles, amoníaco y metano.
- Vertidos accidentales, lo que puede incrementar el contenido en nitratos y la salinidad en las aguas subterráneas. En estos casos, el lixiviado debe ser captado y conducido hacia un depósito de acumulación para ser tratado antes

- de ser evacuado al medio. El tratamiento más efectivo es su minimización, por lo cual el diseño y la gestión correcta del depósito son fundamentales.
- Contaminación fotoquímica. Impactos visuales negativos en espacios abiertos.
 - Impactos ambientales asociados a la gestión de residuos de matadero y subproductos de origen animal no destinados al consumo humano que se producen principalmente en los hornos incineradores.
 - Generación de aguas residuales.

Caracterización del lixiviado

Cada lixiviado tiene una naturaleza y una composición diferentes según el tipo de residuo que lo genera, las condiciones climáticas y la antigüedad del material depositado. Por lo general, presentan altos niveles de contaminación, debido a elevadas concentraciones de materia orgánica y nitrógeno (principalmente en forma amoniacal), sales (cloruros y sulfatos) y metales pesados.

Con el paso del tiempo, la biodegradabilidad de la materia orgánica disminuye y la concentración de amonio y sales aumenta. El tratamiento de los lixiviados varía en función de su composición química. La concentración de amonio, el tipo de materia orgánica biodegradable y no biodegradable, la conductividad eléctrica y los cloruros determinan el método más adecuado.

Es preciso considerar las características del medio receptor de los efluentes tratados y los límites legales de vertido, comoquiera que muchos tratamientos generan fracciones residuales y concentrados que deben a ser gestionados. Por otra parte, además de los factores técnicos y legales se deben valorar los aspectos económicos relacionados con la inversión y los costos de explotación.

Se deben seleccionar las mejores tecnologías disponibles de acuerdo con el tipo de instalación. Dada la complejidad química de los lixiviados, el tratamiento adecuado implica la combinación de distintos métodos, entre los que se cuentan:

Tratamientos térmicos

Comprenden el secado, la evaporación y la evapocondensación.

Tratamientos biológicos

Abarcan lodos activos, SBR, lechos bacterianos, biodiscos, MBR y lagunas de oxidación.

Tratamientos de membranas

Entre estos se tienen osmosis inversa, osmosis directa, filtración y ultrafiltración.

Tratamientos físicoquímicos

Basados en el uso del carbón activado, la oxidación, la ozonización, el estripping, la precipitación, la coagulación–floculación y la electrodiálisis.

Debido a la complejidad físicoquímica de muchos lixiviados, es poco probable que un solo tipo de tratamiento consiga un efluente apto para ser vertido al medio natural, razón por la cual en muchas ocasiones se recurre a tratamientos completos, consistentes en la suma de diferentes procesos en serie.

El papel del compost dentro de la agricultura biológica

Una de las bases fundamentales de la agricultura biológica es considerar el suelo como el responsable directo de la nutrición de las plantas, lo cual depende de sus condiciones físicas, químicas y biológicas. En el suelo viven millones de microorganismos que participan en el reciclaje de nutrientes y ponen a disposición de las plantas los que necesitan.

Las raíces de las plantas y los organismos que viven en el suelo necesitan respirar y también precisan del agua. Si el suelo no tuviera una estructura determinada no sería posible la circulación del aire y del agua y por lo tanto no brotaría la vida. En este sentido, el compost se constituye en materia orgánica disponible de primerísima calidad y en el mejor material para mantener la estructura del suelo.

El compostaje imita tácitamente lo que sucede en los ecosistemas de forma natural cuando la materia orgánica llega a la superficie del suelo y el humus, que se forma de la mezcla de materias orgánicas de diferente calidad, contribuye tanto a la nutrición de las plantas como a la formación de la estructura del suelo.

Bibliografía

- ÁLVAREZ, E., CORTÉS, J., CEBALLOS, G. (2010). “Alternativas para el manejo de la Sigatoka negra en plátano dominico hartón (AAB) mediante el uso de lixiviados y productos biológicos”. En: *Boletín Musalac*, No. 1 (2). pp. 3–5.
- ÁLVAREZ, E., GRAJALES, C., VILLEGAS, J., LOKE, J. (2001). “Control del mildew polvoso (*Sphaeroteca panosa* var. *rosae*) en Rosa (*Rosa sp.*), usando un lixiviado de compost del raquis de plátano (*Musa AAB*)”. En: *Asocolflores*. Julio–diciembre, pp. 41–47.
- ANGERS, D.A., N'DAYEGAMIYE, A. (1991). “Effects of manure application on carbon, nitrogen and carbohydrate contents of a silt loam and its particle–size fractions”. In: *Biol. Fertil. Soils* 11, pp. 79–82.
- AOYAMA, M. (2002). “Characterization of water–soluble organic matter in soils by size exclusion chromatography and fractionation with PVP”. In: *Soil Sci. Plant Nutr.* 48(4). pp. 475–481.
- BORNEMISZA, E. (1982). *Introducción a la química de suelos*. Organización de Estados Americanos.
- GOLUEKE, C. (1972) *Composting. A study of the process and its principles*. Rodale press, Inc.
- HAYES, M. (1998). “Humic substances: progress and toward more realistic concepts of structures”. In: *Humic substances. Structures, properties and uses*. Edited by: Davies G., Ghabbour E. A: The royal Society of Chemistry.
- MOSQUERA, C. (2006). *Caracterización preliminar de la estructura de los ácidos húmicos de un suelo andisol del departamento del Cauca*. Universidad del Cauca. Departamento de Química.
- RIBO, M. (2003). *Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado ecológico*. Universidad de Valencia, Facultad de Farmacia. Valencia, España.
- SCHNITZER, M. (2000). “A lifetime perspective on the chemistry of soil organic matter”. *Advances in Agronomy*, Vol. 68. pp. 1–59.

La gestión de la biomasa. Eje de la rentabilidad y sostenibilidad de la agroindustria

Philippe Conil*

Hace dos siglos, antes del boom demográfico y del crecimiento industrial, el planeta no sufría sobrepoblación ni problemas mayores de contaminación. Han sido la concentración de la producción y la población, el invento de productos sofisticados y el auge de la sociedad de consumo sus causantes.

Al corriente de lo anterior, esta presentación se enfoca en el problema de contaminación del sector agroindustrial orientado a la transformación de la biomasa en productos comercializables, vegetales o animales. Esta esfera de la economía busca aprovechar los otrora desechos en alimentos, materias primas, fertilizantes, energía o en una combinación de los anteriores.

La agroindustria es la fuente de desarrollo en regiones rurales del trópico húmedo, pues la biomasa que la alimenta es un recurso abundante, bien distribuido entre sus numerosos habitantes y genera empleo estable y digno. Todo ello es posible, siempre y cuando se encuentre una valorización a dicha biomasa dentro de la economía de mercado (a un precio inferior al de la competencia que proviene de otras regiones o países o de la minería).

La biomasa es por sí misma una fuente directa de energía térmica (combustión o gasificación), físicoquímica (biodiesel) o biológica por fermentación (bioetanol, biogás). El biodiesel y bioetanol producidos en Colombia a partir de aceite de palma y de miel de caña permiten sustituir el 10 % del consumo de petróleo del país. De igual manera, los subproductos de la agroindustria son fuentes

* Bioingeniero, PhD de la Universidad de Bruselas (Biotec).

potenciales de energía por las mismas vías térmicas, físicoquímicas y biológicas, además de fertilizantes orgánicos.

No obstante lo anterior, la generación de energía a partir de la biomasa entraña la contingencia de no devolver al suelo la materia orgánica y los nutrientes que este necesita para la sostenibilidad de la agricultura, particularmente frágil en regiones tropicales. Por esta razón, es aconsejable una visión conjunta energética y agrícola, además de ambiental. Una energía generada a partir de la biomasa o de subproductos agroindustriales sin esa visión, no puede llamarse energía renovable. La agroindustria es agricultura más industria, lo cual significa que la sola visión industrial por sí misma no asegura rentabilidad ni sostenibilidad.

Estudio de casos: caña y palma

Estas dos agroindustrias se distinguen por poseer características que las hacen únicas en este segmento de la economía: son de las más importantes de Colombia; las fábricas están ubicadas en medio de grandes plantaciones; son específicas de regiones tropicales (semitropicales para la caña); sus productos son commodities (tienen un precio de mercado mundial); sus productos principales son el azúcar y el aceite, respectivamente y representan un porcentaje bajo de la biomasa (el azúcar representa el 12 % de la caña llevada al ingenio y el 8 % de la biomasa producida; para la palma, el aceite representa el 21 % del fruto llevado a la extractora y la biomasa llevada a la fábrica no representa el total de la biomasa generada, sino solo una parte).

Como productos y subproductos de la caña se tienen hojas, cogollo, cachaza, aguas residuales y melaza (vinaza); y de la palma, hojas, raquis, fibra, cascarilla y efluentes. En ambos casos, se da un porcentaje considerable de biomasa desaprovechada o, en el mejor de los casos, poco aprovechada. En consecuencia, tenemos frente a nosotros una oportunidad de valor agregado como producto adicional, fertilizante o energía) y de sustentabilidad (económica, ambiental, agrícola, energética, social) que podría materializarse en un emprendimiento claramente rentable.

Desarrollo rural

El aprovechamiento de los subproductos agroindustriales va más allá de generar ingresos adicionales, reducción de costos de producción o asegurar la sostenibilidad de un negocio. Es una opción casi la única para lograr el desa-

rollo rural y, por ende, el progreso sostenible de un país de regiones, como lo es Colombia.

En nuestros días, las ciudades se han convertido en conglomerados sociales extremadamente complejos, pero son los únicos centros que generan empleo a gran escala y servicios fundamentales para los ciudadanos del siglo XXI (electricidad, agua potable, internet, seguridad).

Es cierto que en algunas partes del planeta, el campo es sinónimo de calidad de vida (ambiental y social), pero para alcanzar este nivel debe ser productivo y generar empleo. De lo contrario sería una zona vacía, sin explotar, con actividades centradas en la mera supervivencia y no siempre legales. Colombia, sin duda, no es ajena a esta última descripción.

No cabe duda de que el desarrollo armonioso del país está vinculado fuertemente al desarrollo del campo. Sin embargo, *¿cómo* implantar ese desarrollo en regiones extensas, con enormes falencias en infraestructura y servicios y en las cuales la presencia del Estado es casi inexistente? *¿Cómo* salir del círculo vicioso del éxodo rural para adentrarse al círculo virtuoso del desarrollo rural? Recursos como la minería y el petróleo pueden dar un impulso, qué duda cabe, pero no son sostenibles ni generan desarrollo por sí mismos. La respuesta, entonces, se encuentra en la agricultura.

Ahora bien, *¿cómo* hacer agricultura productiva y sostenible en zonas de difícil acceso, sin infraestructura ni capacidad de producir en forma competitiva? Es y será difícil, pero en todo caso va de la mano con la agroindustria transformadora de la biomasa, que reduce el tamaño y el peso del producto final, agrega nuevos productos y autogenera su energía y su fertilizante, amén de energía para la región, pues es un mercado local que no depende de la calidad de la infraestructura ni de los tratados de libre comercio y evita que los pocos ingresos de los ciudadanos sean drenados hacia otras regiones para la compra de este servicio básico.

Conclusiones

La agroindustria genera una biomasa excedentaria cuyo aprovechamiento aumenta los ingresos y disminuye los gastos; por lo tanto, contribuye al desarrollo rural.

Aun cuando la producción de un producto agroindustrial no es económicamente factible a causa de las falencias en infraestructura y servicios, la sola generación

de la energía local y regional con biomasa a través de un proceso agroindustrial es el primer paso hacia el ciclo virtuoso del desarrollo, al generar empleo local y servicios y evitar la dispersión de los pocos recursos financieros de la zona hacia la compra de combustibles fósiles.

Esta labor de maximizar los beneficios de la agricultura a través de la agroindustria, es un paso necesario para el desarrollo sostenible del país y representa un desafío competitivo para las nuevas generaciones de profesionales y técnicos en la revitalización del campo.

Aprovechamiento de subproductos de origen pecuario y su importancia para Colombia

José Igor Hleap Zapata*

Resumen

El aprovechamiento de los subproductos de origen pecuario plantea un desarrollo económico importante para el país. La industria ganadera (producción industrial de ganado bovino, porcino, aviar, especies menores, caprino y ovino, entre otras) ha marcado históricamente un punto importante en la economía del país. Los datos estadísticos muestran que la producción de ganado vacuno a nivel mundial, fue de 57. 470.000 toneladas para el año 2013, dominada por Estados Unidos con 11. 273.000 toneladas como primer productor mundial. Colombia ocupó en el mismo año, el décimo tercer puesto a nivel mundial y el cuarto puesto en América Latina con 957.000 toneladas, lo cual representó una contribución del 1,6 % del PIB nacional. En los procesos de beneficio del ganado se obtienen el producto primario –llamado canal– y los subproductos, los cuales pueden ser comestibles o no comestibles. Los subproductos no comestibles son fuente importante de materias primas para la obtención de múltiples productos, como concentrados para animales, productos farmacéuticos, veterinarios, cosmetológicos, artesanales, marroquinería e incluso como fuente de energía alternativa. En este trabajo, se presentan los tópicos y consideraciones más importantes en el manejo de algunos productos obtenidos a partir de estas

* Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración. Palmira, Colombia.

materias primas y su importancia para la economía del país, con el énfasis puesto en los procesos de transformación agroindustrial.

Abstract

The use of byproducts of animal origin poses a significant economic development for the country. Historically, the livestock industry (industrial production of cattle, pigs, poultry, minor species, goats, sheep, etc.) has marked an important point in the country economy. Statistical data showed that the production of cattle, globally for the year 2013 was 57'470.000 tons, being United States with 11'273.000 tons the first world producer. Colombia occupied in the same year, the thirteenth place in the world and fourth in Latin America with 957,000 tons, representing a contribution of 1.6 % of national GDP. In the beneficiation processes of the cattle, one primary product is obtained, called canal, and the by-products, which may be edibles or inedibles. Inedible by-products, are presented as an important source of raw materials for the production of various products technical, feed concentrates, pharmaceutical, veterinary, cosmetological, artisanal, leatherware and even source alternative energy, among others. In this work are presented the topics and major considerations for the handling of some products made from these materials and their importance to the country economy, emphasizing the processes related to agroindustrial processing.

Introducción

La industria ganadera a nivel mundial ha girado alrededor de determinadas especies de animales de abasto (reses, cerdos, pollos, conejos, cabras, ovejas, otros). De ellas, la más explotada históricamente ha sido el ganado vacuno, el cual ha mostrado cifras importantes en producción, consumo, comercio internacional y aporte de proteína de alta calidad. Las cifras ostentan una producción mundial de 57.470.000 toneladas para el 2013, producidas –en orden de contribución de mayor a menor– por Estados Unidos, Brasil, la Unión Europea, China, India, Argentina, Australia y México, entre otros países (USDA, 2012). Igualmente, la producción de ganado porcino y aviar ha logrado aferrarse a las costumbres alimentarias del ser humano para consolidar una producción mundial –igualmente para el año 2013– de 104.710.000 toneladas y 88.982.000 toneladas, respectivamente, para un total de 251.217.000 toneladas (ganados bovino, porcino y aviar). Por otro lado, el consumo de carne y productos cárnicos derivados ha experimentado un incremento importante a nivel mundial que lo ha afianzado como la fuente más importante de aporte proteico. Al respecto,

para el año 2012 las cifras muestran un consumo promedio per cápita mundial de 42,5 kg/persona-año, que en los países desarrollados asciende a 79,2 kg/persona-año y en los países en desarrollo a 32,7 kg/persona-año (FAO, 2012).

En Colombia, las cifras muestran un panorama similar dentro del cual el aporte de la ganadería constituye el 1,6 % del PIB nacional, el 20 % del PIB agropecuario y el 53 % del PIB pecuario (Salamanca, 2012). En la explotación ganadera, se obtienen, además del producto primario (canal), subproductos y coproductos de suma importancia en la alimentación humana y animal y en la fabricación de productos técnicos, veterinarios, farmacéuticos, cosmetológicos y artesanales.

En lo tocante a la explotación pecuaria y en concreto a los beneficios derivados de los animales, se resaltan los subproductos utilizados para la obtención de harinas conducentes a la fabricación de concentrados para animales y para usos técnicos. Dentro de estos subproductos se tienen el estiércol y el contenido ruminal, destinados a la elaboración de abonos y fertilizantes, y la sangre, las grasas y las pieles aprovechados con fines técnicos, principalmente.

En este escrito se presentan algunos de los procesos utilizados para la obtención de subproductos transformados, sus características técnicas y sus aplicaciones. Finalmente, se plantean algunas conclusiones y recomendaciones que podrían mejorar el desarrollo de la industria de utilización de los subproductos de origen pecuario.

Explotación del ganado en el mundo y en Colombia

Las principales especies pecuarias explotadas en el mundo como fuentes de alimentación proteica, han sido, en primer lugar, el ganado bovino, dado el volumen de producción generado, el nivel de recursos utilizados y las preferencias del consumidor por este producto. En segundo lugar está el ganado porcino, el cual, cuantitativamente, ha tenido un aprovechamiento importante y poco variable en los últimos años en Colombia. En tercer lugar se encuentra el ganado aviar, representado básicamente por la explotación de pollos para consumo directo, usufructo que se ha incrementado año tras año hasta ganarle mercado al ganado bovino. En cuarto lugar se tienen especies menores, tales como los conejos y los cuyes cuya producción aún no alcanza una importancia industrial significativa en nuestro país, pero con muchas posibilidades de lograr desarrollos importantes en los próximos años. En quinto lugar se ubican las explotaciones ovina y caprina, las cuales han permanecido marginadas de los procesos de industrialización en Colombia, pero que al igual que las especies menores anteriormente anotadas, tienen un futuro prometedor gracias a su alto aporte nutricional. Finalmente,

cabe mencionar el ganado equino, el cual por razones culturales no goza de aceptación en nuestro medio, pero que podría tener un desarrollo importante en un futuro, suerte que podrían correr otras especies no tradicionales, como el avestruz, las babillas, las iguanas, el armadillo y en general los animales de caza.

A nivel mundial, el volumen de producción de carne (bovinos, porcinos y aves) se ha incrementado en los últimos años al pasar de 234.393.000 toneladas en el 2008 a 251.217.000 toneladas en el año 2013, lo que significa un incremento del 6,69 % en cinco años. Por especie animal y para el mismo período, se aprecia una disminución del 1,43 % en el ganado bovino, mientras que para el ganado porcino se da un incremento del 6,50 % y para el aviar (pollos) del 12,17 % (Usda, 2012). El principal país productor de ganado bovino en el mundo es Estados Unidos, con una producción de 11.273.000 toneladas para el 2013, seguido de Brasil con 9.375.000 toneladas y de la Unión Europea (27 países) con 7.700.000 toneladas. Argentina ocupa el sexto puesto con 2.750.000 toneladas y México el octavo con 1.795.000 toneladas. Por su parte, Colombia se ubica en el decimotercer puesto a nivel mundial con un total de 905.142 toneladas y es el cuarto productor en América Latina y el tercero en Suramérica. En la Tabla 1 se puede apreciar la producción de ganado bovino a nivel mundial.

Tabla 1.
Producción de carne vacuna (miles de toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
USA	12.163	11.891	12.046	11.998	11.709	11.273
Brasil	9.024	8.935	9.115	9.030	9.210	9.375
UE-27	8.090	7.913	8.048	8.023	7.815	7.700
China	6.132	5.764	5.600	5.550	5.540	5.380
India	2.552	2.514	2.842	3.244	3.643	4.168
Argentina	3.150	3.380	2.620	2.530	2.610	2.750
Australia	2.138	2.106	2.129	2.129	2.140	2.185
México	1.667	1.705	1.745	1.804	1.815	1.795
Pakistán	1.398	1.441	1.470	1.435	1.400	1.400
Rusia	1.490	1.460	1.435	1.360	1.350	1.345
Canadá	1.289	1.252	1.273	1.154	1.060	1.050
Otros	9.269	8.806	8.962	8.741	8.868	8.869
Total	58.352	57.167	57.285	56.988	57.160	57.470

Fuente: USDA, 2012

En cuanto al consumo de carnes per cápita, el promedio muestra un valor de 42,5 kg/persona-año. Para los países desarrollados este valor es de 79,0 kg/persona-año y para los países en desarrollo es de 32,7 kg/persona-año, lo cual marca una diferencia significativa entre estos dos grupos de países (FAO, 2012).

En cuanto a Colombia se refiere, la ganadería bovina es uno de los renglones más importantes del agro colombiano en cuanto contribuye con el 1,6 % del PIB nacional, el 20 % del PIB agropecuario y el 53 % del PIB pecuario. Equivale a 2,5 veces el sector avícola y 4,9 veces el sector porcícola. Genera unos 950.000 empleos directos, lo que representa el 7 % del total de empleos del sector agropecuario (Salamanca, 2012). Sin embargo, el consumo de carne y de productos cárnicos en Colombia ha sufrido una disminución del 41,63 % al pasar de de 30,5 kg/persona-año en 1937 a 17,8 kg/persona-año en 2012.

Además de los productos primarios (canales) consecuencia del sacrificio y faenado de los animales, la industria pecuaria proporciona coproductos representados en leche y huevos. Por otro lado, durante el beneficio de dichos animales se obtienen además subproductos de tipo comestible denominados despojos o de tipo no comestible denominados caídos.

Rendimientos del ganado

Lo que se persigue con el sacrificio de los animales de abasto es la carne, la cual se obtiene unida a otros componentes tales como el hueso y la grasa. En la Tabla 2 se aprecian los rendimientos de ganado bovino, ovino y porcino en valores promedio.

Tabla 2.
Rendimientos de ganado bovino, ovino y porcino (promedio)

CONCEPTO	RENDIMIENTO (%)	PESO (KG)	RENDIMIENTO (%)	PESO (KG)	RENDIMIENTO (%)	PESO (KG)
Canal	50,00	250,00	45,00	22,80	80,00	80,00
Despojos	22,00	11,00	21,50	10,85	13,20	13,20
Caídos	10,00	50,00	18,00	9,00	0,80	0,80
Otros subproductos	16,00	80,00	13,50	6,75	4,50	4,50
Mermas	2,00	10,00	1,50	0,75	1,50	1,50
Totales	100,00	500,00	100,00	51,15	100,00	100,00

Fuente: Madrid, 1999

Como se puede apreciar, el rendimiento en canal para el ganado bovino es del 50 %, para el ovino del 45 % y para el porcino del 80 %. Lo anterior significa que el porcentaje de subproductos para las tres especies –representado en despojos, caídos y otros subproductos– es del 48 %, 53 % y 18,50 %, respectivamente.

El proceso que se lleva a cabo en un matadero y que proporciona los subproductos objeto de transformación es el siguiente: una vez recibido el animal para sacrificio, se somete a una primera inspección sanitaria hecha por un funcionario competente, quien dictamina la viabilidad de su uso para ser consumido por seres humanos. El estiércol obtenido en esta primera fase es un subproducto que puede ser aprovechado para la obtención de abonos y fertilizantes o para la producción de biogás. Una vez efectuada la inspección sanitaria, si hay animales con afectaciones menores estos deben ser sacrificados inmediatamente para evitarles sufrimientos y aprovechar su carne. Los que gozan de buena salud pasan a los corrales de ayuno y reposo para ser sacrificados al día siguiente luego de 24 horas de quietud. Una vez hecho esto, se obtienen las canales que serán comercializadas para el consumo directo o para la transformación industrial. De los procesos de sacrificio y faenado, se obtienen, además, los subproductos (estiércol, sangre, grasas, cueros y pieles), los cuales serán tratados para la elaboración de productos técnicos o para alimentación animal.

Subproductos de matadero

Se entiende por subproductos de matadero aquellos residuos que no se utilizan en la elaboración de productos cárnicos para consumo humano, cuyo aprovechamiento puede ser técnico, farmacéutico o artesanal. Se dividen en subproductos primarios (pieles, huesos, etc.) y derivados procesados (harina de sangre, fibrina, albúmina, etc.). Su utilización presenta ventajas de tipo económico, higiénico y ambiental y depende de factores como la región de donde se obtienen, el clima, la geografía, la demanda y de elementos culturales.

En Colombia, la utilidad de los subproductos de matadero está ligada a factores técnicos y socioeconómicos como el tipo de ganado para el faenado, los hábitos de consumo de los productos técnicos, los sistemas de comercialización de la carne y sus derivados, el tipo de matadero y las técnicas utilizadas para el sacrificio, así como los métodos de transformación industrial de los subproductos de matadero y la legislación sanitaria vigente, factores estos que condicionan el mercado y definen la calidad. Es necesario, entonces, investigar a fondo las tecnologías de transformación de los subproductos y buscar la mayor eficiencia; es decir, el mayor rendimiento a los menores costos. Igualmente, es imperioso hacer un estudio detallado de los mercados internacionales, los cuales pueden

ser atractivos desde el punto de vista económico, pero exigentes en cuanto a calidad y eficiencia.

La tendencia mundial durante los próximos veinte años en la utilización de los subproductos cárnicos está encaminada hacia la producción –en condiciones higiénicas ideales– de productos para el consumo humano y comida para animales domésticos, así como al incremento del mercado de huesos para gelatina comestible y fotográfica, la producción de grasa comestible a partir de huesos y otros subproductos y la preparación de sustitutos de la carne. Ahora bien, en el aprovechamiento de estos subproductos cárnicos se deben emplear técnicas que presenten un máximo rendimiento, calidad, bajo costo de funcionamiento y líneas de proceso continuas y cerradas.

En la Tabla 3 se pueden apreciar algunos de los productos que se obtienen de los principales subproductos de origen animal.

Tabla 3
Productos terminados que se obtienen de los principales subproductos de origen animal

MATERIA PRIMA	PRODUCTO INTERMEDIO	PRODUCTOS TERMINADOS
Despojos y carnes decomisadas	Grasa	Harina de carne, velas, grasa para maquinaria
Huesos	Huesos	Botones, peines
	Grasa	Harina de hueso, ceniza de hueso, carbón animal para purificación
	Oseína	Gelatina, pegamento
Sangre	Albúmina	Pegamento, sustituto de huevo en repostería, fijador para tinturas
	Suero	Productos farmacéuticos
	Fibrina	Peptona
Pieles	Cueros	Maletas, sillas, sillones, guantes, correas, cinturones, abrigos
	Desechos de recortado y descarnado	Harina para animales, grasa, gelatina y pegamento
Intestinos	Tripas	Envoltura para alimentos, hilos para cirugía, cuerdas para instrumentos musicales y raquetas
	Grasa	Margarina, jabones, velas, grasa para maquinaria
	Recortes	Harina para animales

MATERIA PRIMA	PRODUCTO INTERMEDIO	PRODUCTOS TERMINADOS
Glándulas		Productos farmacéuticos, hormonas
Estómago	Renina, pepsina	Cuajo para quesos, productos farmacéuticos
Cerdas, pelos y plumas		Pinceles, brochas, cepillos, abrigos, tapices, almohadas, filtros
Cuerno, pezuñas y cascos		Botones, peines, mangos para cuchillos, objetos de tocador
Soporte óseo	Colágeno; otras proteínas	Gelatina, pegamento
Gallinaza		Alimento para animales, fertilizantes
Contenido ruminal		Alimento para animales, compost

Producción de harinas y grasas a partir de subproductos cárnicos

En la actualidad se dan tres sistemas para la transformación de los subproductos cárnicos en harinas y grasas. Estos son:

Transformación por vía seca

Los subproductos troceados se cargan en un digestor en donde son sometidos a calentamiento para que pierdan humedad hasta llegar a un contenido de 5 %–10 % de agua, luego de lo cual se separan la torta proteínica y las grasas.

Transformación por vía húmeda

Los productos troceados finamente se someten a diversos calentamientos y separaciones por centrifugación, filtración o decantación, hasta conseguir la separación de tres fases: torta proteínica, grasas y agua de colas.

Extracción de la grasa por disolventes orgánicos

En las figuras 1 y 2 se aprecian los procesos para la producción de harina y grasa de carne y harina de hueso.

Aprovechamiento de la sangre

La sangre se compone básicamente de dos fracciones. La primera, denominada plasma o fracción líquida, está compuesta por sales sanguíneas (fosfato potásico,

Figura 1
Producción de harina y grasa de carne

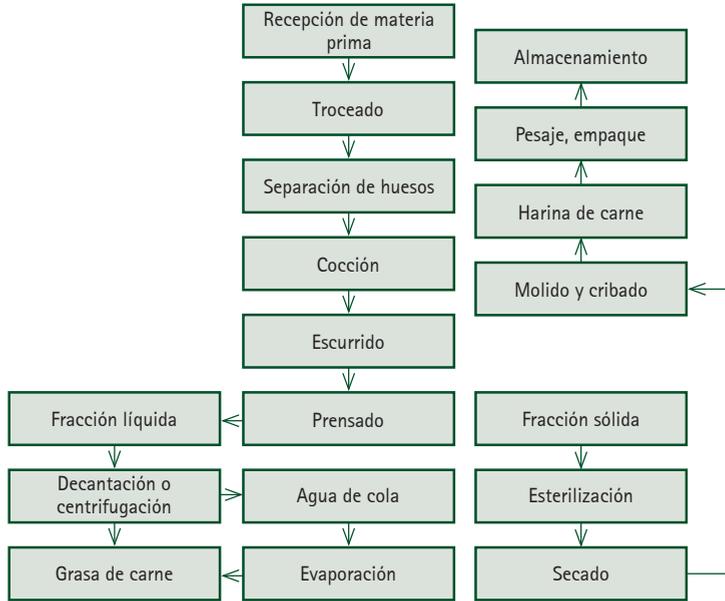
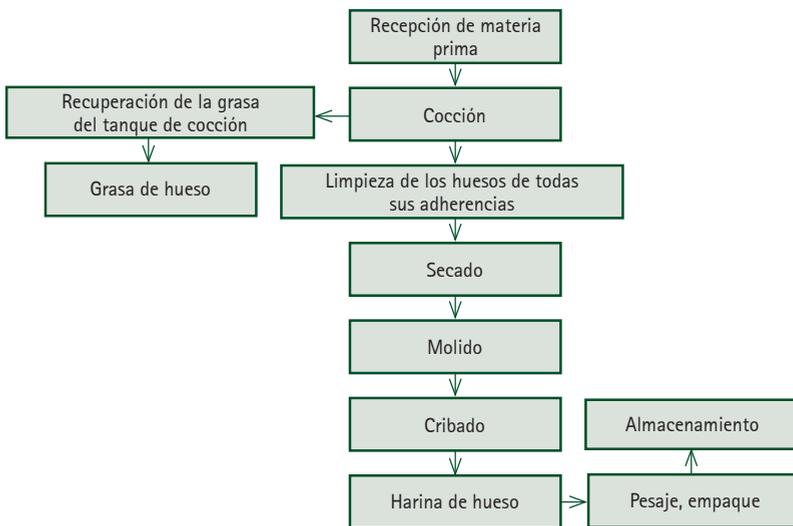


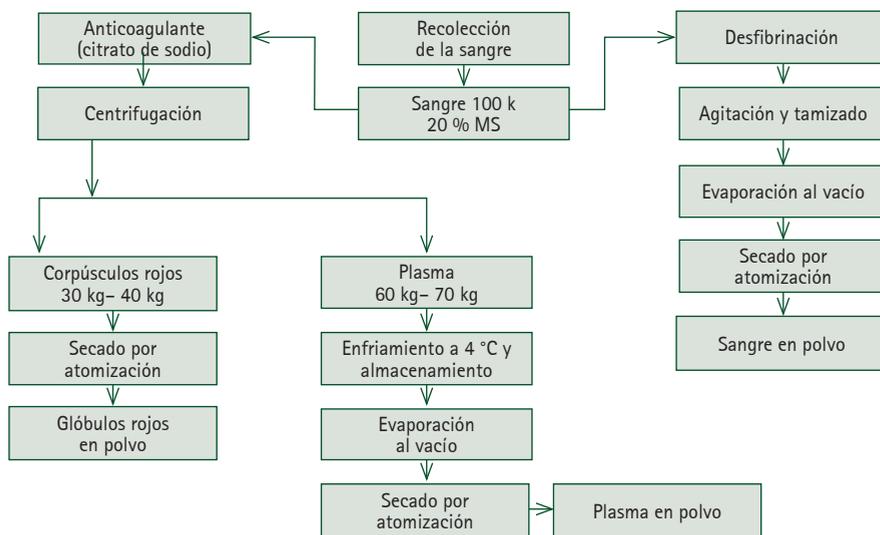
Figura 2
Producción de harina de hueso



cloruro sódico, sales de Ca, Mg y Fe), proteínas (albúmina, diversas globulinas, fibrinógeno) y agua. La segunda o fracción sólida o corpuscular, se compone básicamente de plaquetas, glóbulos rojos y glóbulos blancos. A partir de estos compuestos se puede obtener diversos productos técnicos, médicos, veterinarios, cosmetológicos, etc. La Figura 3 muestra el esquema para la producción y aprovechamiento de la harina de sangre y la Figura 4 el esquema para la transformación de la sangre en productos en polvo.

En promedio, la composición de la sangre es de un 80 % de agua y 20 % de materia sólida, representada en glóbulos sanguíneos, albúmina, fibrina, grasa, extractos de sustancias y cenizas o minerales.

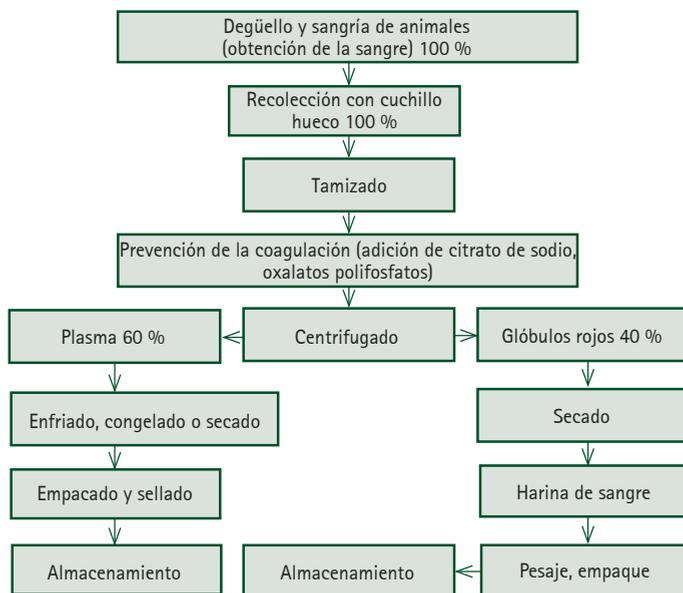
Figura 4
Transformación de la sangre en productos en polvo.



Conclusiones

1. En Colombia, la mayor utilización de los subproductos del proceso de sacrificio de animales se destina a la elaboración de concentrados para la alimentación animal.
2. En América Latina en general y en Colombia en particular, la utilización de los subproductos de matadero se encuentra en una fase importante de desarrollo tecnológico, lo que ha de repercutir en un beneficio económico y social para el país. No obstante, la tecnología se encuentra concentrada básicamente en los principales centros industriales del país. Se requiere, en-

Figura 3
 Producción y aprovechamiento de la harina de sangre



tonces, transferir tecnología a otros municipios y regiones donde se presenta actividad ganadera.

3. Es necesario definir políticas y unificar criterios sobre la utilización de los subproductos de matadero.
4. Se debe incrementar la investigación tecnológica en el campo del aprovechamiento de los subproductos de matadero.

Bibliografía

- USDA. Livestock and Poultry: Word Markets and Trade [online]. 2012. Disponible: <http://www.thepigsite.com/reports/?id=985> [citado 05 de abril de 2014].
- FAO. Perspectivas alimentarias. Análisis del mercado mundial [online]. 2012. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/017/al993s/al1993s00.pdf> [citado 18 de marzo de 2014].
- SALAMANCA P. *La ganadería colombiana en la nueva dinámica del comercio internacional*. FEDEGAN, CIDER, Universidad de los Andes [online]. 2012.

Disponible: http://cider.uniandes.edu.co/@Eventos/Documentos/ganaderia_comercio_internacional.pdf [citado 10 de abril de 2014].

- MADRID A. (1999). *Aprovechamiento de los subproductos cármicos*. Madrid: Vicente Ediciones.

Aprovechamiento de los desechos de recursos pesqueros para la alimentación animal

Mayra del Pilar Balsinde Ruano*

Resumen

A nivel nacional, la industria pesquera de Cuba produce un aproximado 9.685 toneladas de desechos del procesamiento de pescado, con las cuales se pueden elaborar 11.458 toneladas de ensilados. Igualmente, durante el procesamiento de crustáceos, cangrejo (*Cardisoma guanhumi*) y jaiba azul (*Callinectes sapidus*), son generados desperdicios por la extracción de la masa del caparazón y de las muelas, cuyo rendimiento es de solo el 10 %; el otro 90 % son desechos que provocan malos olores y gran impacto medioambiental. Con el mismo propósito son utilizados los desechos del procesamiento de ostión (*Cassostrea rhizopharae*) que ascienden a 1.475.908 toneladas. Se propone como alternativa la utilización de ambos productos en la elaboración de harinas que pueden ser empleadas como suplementos de calcio en cultivos de peces y camarones y alimento de cerdos y pollos.

Introducción

Los subproductos de la industria pesquera constituyen un problema serio de residuos en gran parte del mundo debido a la contaminación ambiental que generan. Por ello, la industria pesquera cubana está aplicando medidas para reducir el impacto ambiental entre las que se encuentra la evaluación y utiliza-

* Centro de Investigaciones Pesqueras, Subdirección de Pesquerías, Ciudad de La Habana, Cuba.

ción para la alimentación animal, aprovechamiento que crea nuevas fuentes de empleo y contribuye a una mayor eficiencia del proceso industrial. El ensilado es un producto líquido o semilíquido obtenido a partir del pescado entero y de los subproductos o residuos del procesamiento de pescado, cuya importancia radica en la utilización para la formulación de raciones de bajo costo y alto valor nutricional, disminuyendo de este modo los costos en la alimentación animal (Akiyama, 1988). Por otra parte, los desperdicios de crustáceos y moluscos producto de la extracción de su masa contienen un alto porcentaje de calcio en forma de carbonato de calcio –una de las formas químicas asimilables por el organismo animal– compuesto que puede ser aprovechado en la elaboración de harinas como suplemento de calcio en la elaboración de dietas, lo cual contribuye a la sustitución de importaciones y ayuda a la conservación del medioambiente. Por las razones anteriores, este trabajo se planteó como objetivo evaluar y utilizar los subproductos de la industria pesquera cubana en la elaboración de ensilados y harinas como suplemento de calcio en dietas para la alimentación animal.

Desarrollo del trabajo

A partir de un inventario de los desechos del procesamiento de pescado, crustáceos (carapachos de cangrejo de la tierra *Cardisoma guanhumi* y de jaiba azul *Callinectes sapidus*) y moluscos (conchas de ostión *Cassostrea rhizopharæ*) en la industria pesquera, se llevó a cabo un análisis de las cantidades disponibles con vistas a su aprovechamiento en la elaboración de ensilado de pescado y harinas como suplemento de calcio para cultivos acuáticos, en sustitución de importaciones de materias primas de origen animal (harina de pescado y carbonato de calcio). Se estableció el flujo del proceso para la obtención de ambos productos, fueron caracterizados químicamente y se determinó el contenido de calcio en 100 g de harina (Aoac, 2000).

Resultados

A nivel nacional, la industria pesquera produce anualmente un total de 9 685.53 toneladas de desechos de pescado (Tabla 4). Con estos desechos, mediante el proceso de ensilado se pueden obtener 11.458 toneladas de este producto para la alimentación animal (Marrero, M.; J.L. López, y M. Blanco, 2007). Por su parte, la captura anual de ostión (*Cassostrea rhizopharæ*) es de 1.566.592 toneladas, su rendimiento es de solo el 5,7 % y genera 1.475.908 toneladas de desechos de conchas, de las que se pueden obtener 826.508 toneladas aproximadamente de harina como suplemento de calcio. En el procesamiento de crustáceos, el

rendimiento es de solo el 10 %; el restante 90 % son desechos, de los cuales se pueden obtener 900 kg de desechos por cada tonelada de materia prima, que pueden ser convertidos en harina como suplemento de calcio.

Tabla 4

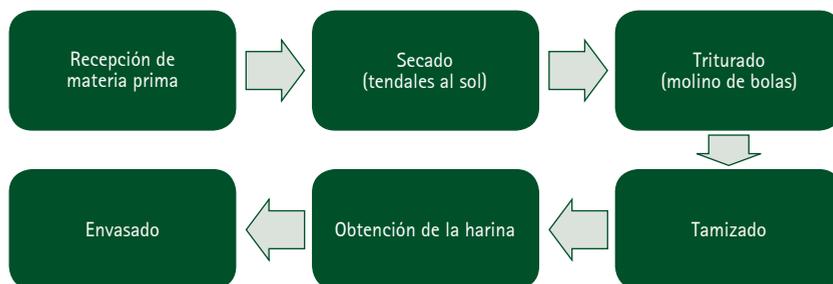
Cantidad de desechos de pescado por provincias y su conversión en ensilado

EMPRESAS DE LA PESCA	DESECHOS DE LA INDUSTRIA PROCESADORA DE PESCADO (T)	CANTIDAD DE ENSILADO (T)
Epicol	1981.89	2344.6
Pescahab	920.79	1089.3
Pescaisla	886.41	1048.6
Epicai	891.81	1055.0
Epicien	859.14	1016.0
Episan	474.08	561.0
Epivila	496.26	587.0
Epicam	452.43	535.0
Episur	643.19	761.0
Epitun	561.3	664.0
Epigran	789.3	934.0
Epiniq	665.73	788.0
Flogolfo	63.2	75.0
Total	9 685.53	11 458.5

La Figura 5 muestra el proceso tecnológico para la obtención harina de crustáceos y moluscos.

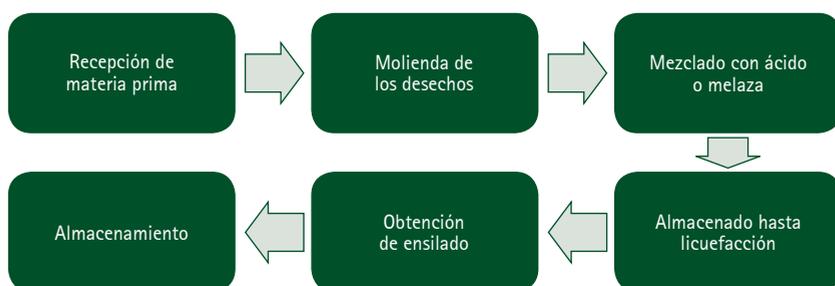
Figura 5

Proceso de obtención de harina de crustáceos y moluscos.



Por su parte, la Figura 6 muestra las operaciones para la obtención de ensilado de desechos de pescado.

Figura 6
Proceso de obtención de ensilado



La Tabla 5 muestra la composición química del ensilado elaborado a partir de desechos del procesamiento de pescado. Los valores de proteína de este producto están en correspondencia con valores similares reportados por Viana y col. (1993) y Bello y col. (1992), razón por la cual se puede emplear como un suplemento proteico en la elaboración de dietas para la alimentación animal.

Tabla 5
Composición química ensilado

PROTEÍNAS	LÍPIDOS	HUMEDAD	S. MINERALES (%)
	(%)	(%)	
16–19	9–13	60–64	6–7

La Tabla 6 expone los resultados de la composición química para la harina de crustáceos y moluscos que coinciden por los reportados por Meyers y Rutledge (1972).

Tabla 6
Composición química para la harina de crustáceos y moluscos

PROTEÍNAS (%)	LÍPIDOS (%)	HUMEDAD (%)	S. MINERALES (%)	CALCIO
				Mg/100g
0,72	0,12	0,98	97,37	2.325

Conclusiones

La disponibilidad de subproductos del procesamiento de pescado pueden ser aprovechados en la elaboración de ensilados y los subproductos del procesamiento de crustáceos y moluscos en la elaboración de harinas como suplementos de calcio; ambos productos para la alimentación animal.

La composición química de estos coincide con valores reportados por otros autores que han empleado estos subproductos para la obtención de alimentos para uso animal.

Bibliografía

- AKIYAMA, D. 1988. Soybean meal utilization by marine Shrimp. In Proc. of AOCS World Congress on Vegetable Protein Utilization in Human Foods and Animal Feedstuffs. Singapore.
- AOAC (2000). Official Method of Analysis. Association of the Official Analytical Chemist. Washington DC USA.
- BELLO, R. A.; Gutiérrez, M y Ottati, M y Martínez, A. (1992). *Estudio sobre la elaboración de ensilado de pescado por vía microbiana en Venezuela*. FAO. Informe de pesca No. 441, Suplemento. FIIU/R441, pp. 1–17.
- MARRERO, M.; J.L. LÓPEZ, y M. BLANCO. (2007). *Metodología para la fabricación de ensilaje biológico de pescado con recursos locales*". Informe parcial. Centro de investigación en Bioalimentos. CITMA. Ciego de Ávila, Cuba (inédito). OCS World.
- MEYERS, S.P y J.E. RUTLEDGE. 1972. "Utilization of economically valuable by products from the shrimp processing industry". In: *Food Drugs from the Sea Proc. Mar. Technol. Soc.*, Washington, DC. pp. 75–85.
- VIANA, M. T.; NAVA, L.; SOLANA, C. 1993 "Ensilajes ácidos de pescado, efectos de precalentamiento y adición de ácido fosfórico y cítrico sobre la calidad bioquímica". En: *Ciencias Marinas* Vol. 19 No 4. pp. 415–433.

Aprovechamiento de subproducto de plátano en busca de alimentos funcionales

Diana Victoria Melo Sabogal*
Yennifer Torres Grisales*
Laura Sofía Torres Valenzuela*
Diana Paola Navia Porras**

Resumen

El plátano (*Musa paradisiaca ssp*) es el renglón agropecuario más importantes del Quindío; sin embargo, un porcentaje significativo de la parte aprovechable de la planta lo constituyen los subproductos. En esa vía, el objetivo de este trabajo es la evaluación de algunas de las propiedades físicas y químicas del almidón y la maltodextrina provenientes de la cáscara de plátano, con el fin de establecer el efecto del tratamiento enzimático y su viabilidad de aplicación mediante el secado por atomización. Los resultados no mostraron efectos significativos de dicho tratamiento enzimático sobre la actividad del agua y el contenido de humedad, pero sí en cuanto a los valores de su equivalente de dextrosa. El efecto sobre los parámetros de luminosidad (L^*), croma (C^*), ángulo de tono (H^*) y diferencia de color (ΔE) al igual que sobre la viscosidad de la maltodextrina, es altamente significativo.

Palabras clave: almidón, aprovechamiento de residuos, cáscaras, maltodextrina.

* Universidad La Gran Colombia, seccional Armenia. Facultad de Ingenierías, programa académico de Ingeniería Agroindustrial, Armenia, Colombia.

** Universidad de San Buenaventura Cali. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Agroindustrial. Cali, Colombia.

Abstract

The banana (*Musa paradisiaca* ssp) is the most important agricultural line of Quindío, with its share in the national production of 7,22 %. Plant product, 17,82 % corresponds to the cluster, where only the fruit (60 %) is sold, the shells (25 %) and stem (15 %) become byproducts that cause being mismanaged environmental problems; in view of this, it is important to develop processes for the use of by-products, among which is the extraction of starch from banana peels for its starch content (52 % dry basis) obtained by enzymatic hydrolysis of maltodextrin. The aim of this work was the evaluation of physical and chemical properties of starch and maltodextrin from banana peel in order to establish the effect of enzymatic treatment. According to statistical analysis, no significant difference of enzymatic treatment on the water activity and moisture content of starch and maltodextrin; while such treatment is significant for dextrose equivalent values . The effect on the parameters of brightness (L*), chroma (C*), hue angle (H*) and color difference (ΔE) as well as on the viscosity of the maltodextrin is highly significant.

Keywords: starch, waste utilization, shells, maltodextrin.

Introducción

El plátano (*Musa paradisiaca* ssp) es una planta monocotiledónea perteneciente al orden escitaminales, a la familia musaceae (sub familia musoideae) y al género musa que contiene entre treinta y cuarenta especies diploides. Esta especie crece a una altitud de hasta 2.000 msnm y prolonga su periodo vegetativo diez días por cada cien metros de altitud. La temperatura óptima para su siembra es de 26 °C con un pH entre 5,5 y 6,5 (Palencia, Gómez, y Martín, 2006).

En Colombia, el área sembrada en plátano abarca 378.884 hectáreas con una producción de 3.072.974 toneladas. El departamento del Quindío es el tercer productor del país después de Arauca y Antioquia, con una participación del 7,22 %. Adicionalmente, el cultivo de plátano es el renglón agropecuario más importante de esta región, con una producción de 221.929 toneladas y una participación del 94,04 % (Agronet, 2013).

En cuanto a la composición, el 73,76 % de una planta de plátano corresponde al pseudotallo, el 8,42 % a hojas y el 17,82 % es el racimo, que lleva el fruto unido al vástago o raquis. Por su parte, el racimo está conformado por un 60 % de fruto, 25 % de cascara y 15 % de raquis (Martínez, *et al.*, 2013). Por su parte, Belalcázar *et al.* (1991), reportan que en la producción de plátano se utiliza del

20 % al 30 % de su biomasa, evidenciando con ello que entre el 70 % y el 80 % de los residuos pueden convertirse en subproductos. La carencia de prácticas de uso de estos subproductos ha generado problemas ambientales, ocasionados principalmente por incineración y vertimiento a cauces de ríos y arroyos sin tratamiento previo, lo que entraña una degradación del ecosistema. Sin embargo, cabe aclarar que algunos productores aprovechan los residuos en forma de abono verde y alimentación animal (Vidal *et al.*, 2001).

Esto pone de presente efectos ambientales asociados a la alta producción de residuos agroindustriales, los cuales en la mayoría de los casos no son sometidos a tratamientos previos a su disposición final en rellenos sanitarios o cuerpos hídricos, lo que contribuye a la degradación del ecosistema (Motato, Mejía y León, 2006).

En este sentido, es importante desarrollar procesos de aprovechamiento de los subproductos, dentro de los cuales se encuentra la extracción de almidón a partir de cáscaras del producto. Mazzeo *et al.* (2008) reportan un 52 % (base seca) de almidón, a lo cual se añade la obtención de maltodextrina, una molécula de azúcar no calórica obtenida por hidrólisis química o enzimática de almidón. Estos azúcares poseen funciones multifacéticas, entre las que se tienen el aumento de volumen y la formación de películas de recubrimiento (Sansone *et al.*, 2011), útiles en la protección de sustancias de interés que aseguran su reacción en el lugar deseado. En la actualidad, las maltodextrinas son utilizadas en las industrias farmacéutica y alimentaria gracias a su capacidad para unir el sabor y las grasas y reducir la permeabilidad del oxígeno al producto (Vidović, Vladić, Vaštag, Zeković, y Popović, 2014), al igual que como coadyuvante en procesos de secado por aspersion, lo que reduce la pegajosidad y mejora la estabilidad del producto secado por este método (Caliskan y Nur Dirim, 2013).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo está dirigido a evaluar las propiedades físicas y químicas del almidón y la maltodextrina provenientes de la cáscara de plátano y establecer el efecto del tratamiento enzimático.

Materiales y métodos

Materia prima

Se utilizaron cáscaras de plátano dominico–hartón (*Musa AAB Simmonds*) en estado de madurez 1 y 2 cosechado en la ciudad de Armenia, Quindío (segunda cosecha). Las cáscaras fueron cortadas manualmente en trozos pequeños y sumergidas en una solución antioxidante de ácido cítrico al 0,3 %.

Extracción de almidón de plátano

Las cáscaras cortadas previamente, se licuaron en una licuadora doméstica clásica Oster® a segunda velocidad (velocidad máxima) durante sesenta segundos. La solución obtenida se filtró en una malla de 100 U.S. y los residuos se lavaron con agua hasta observar ausencia total de color en el agua de lavado. La suspensión resultante se sedimentó y posteriormente se eliminó el sobrenadante. El sedimento se lavó nuevamente en la malla y se dejó en reposo. Este procedimiento se repitió tres veces.

La suspensión obtenida se sedimentó durante 24 horas. Posteriormente, se retiró el sobrenadante y el precipitado se secó en una estufa Binder® a 40 °C. El almidón extraído se pulverizó en un molino de cuchillas Samurai® y se almacenó en bolsas de poliestireno de alta densidad.

Obtención de maltodextrina

El almidón obtenido de la cáscara de plátano fue sometido a hidrólisis enzimática para obtener maltodextrina.

Se preparó una solución del almidón (20 % p/v) y se ajustó su pH a 6,5. La solución se pregelatinizó a 72 °C (según estudio previo) en un baño María durante diez minutos. Se adicionó la enzima α -amilasa de origen fúngico (0,02 % v/v) y se agitó durante quince minutos a temperatura constante de 72 °C.

Luego del tratamiento enzimático se efectuó una inactivación con un choque térmico a 4 °C y una acidificación con ácido clorhídrico 0,1 N hasta un pH de 3,5. La solución obtenida se secó por atomización en un Spray-dryer a una temperatura de 120 °C.

Análisis químicos

Se llevó a cabo una medición de actividad de agua (A_w), contenido de humedad (CH) y equivalente de dextrosa (DE) al almidón y la maltodextrina de cáscara de plátano. La actividad de agua se determinó a través del método del punto de rocío en un medidor de *Aqualab Lite*® (Decagon, USA). La determinación del contenido de humedad se hizo mediante el método gravimétrico de acuerdo con la norma AOAC 934.06 (AOAC, 2000) usando una estufa Binder® y una balanza analítica Mettler Toledo®. El equivalente de dextrosa se determinó por el método de DNS (ácido dinitrosalicílico), según la metodología modificada de Carrillo (2002).

Análisis de color

El color fue determinado directamente sobre las muestras de almidón y maltodextrina usando un colorímetro CM-600d (Konica®). Se obtuvieron coordenadas de color CIEL*a*b* (L^* , a^* , y b^*) empleando como referencia el iluminante D65 con observador de 10°. El rango de los parámetros de color fue $L^* = 0$ (negro) hasta 100 (blanco); $a^* = -60$ (verde) hasta +60 (rojo) y $b^* = -60$ (azul) hasta +60 (amarillo). Los valores reportados corresponden al promedio de tres mediciones en cada muestra.

Análisis reológico

Se determinó a partir de suspensiones de 25 ml de almidón o maltodextrina al 8 % (p/v) en base seca, sometidas a barridos de temperatura y agitación. Se inició con un acondicionamiento 50 °C y una velocidad angular de 78,53 rad/seg durante treinta segundos. Posteriormente, la velocidad angular se llevó a 16,75 rad/seg y se mantuvo constante durante toda la prueba. Las suspensiones se calentaron hasta 90 °C a una velocidad de 12,2 °C/min, y se mantuvo la temperatura a 90 °C durante 2,5 minutos, luego de lo cual se llevaron hasta 50 °C a la misma velocidad de calentamiento. Finalmente, las muestras se mantuvieron a 50 °C durante dos minutos. El análisis reológico se hizo en un reómetro rotacional (TA Instrument, AR1500ex) con el software *Reology Advantage Data Analysis*, con el cual se obtuvieron los viscoamilogramas que representan las curvas de empastamiento.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se realizó un diseño factorial completamente aleatorio, donde se evaluó el efecto del tratamiento enzimático. Se estableció como control el almidón sin tratamiento enzimático. Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado y los resultados se analizaron a través de análisis de varianza a un nivel de significancia del 95 % empleando el software *Statgraphics®*.

Resultados y discusión

Análisis químicos

La Tabla 7 muestra los resultados obtenidos en las pruebas de actividad de agua, contenido de humedad y equivalente de dextrosa para el almidón extraído a partir de cáscaras de plátano (T_0) y la maltodextrina obtenida por hidrólisis enzimática (T_1).

Tabla 7

Valores promedios de actividad de agua (A_w), contenido de humedad (CH) y equivalente de dextrosa (DE) para almidón (T_0) y maltodextrina (T_1)

	A_w	CH (%)	DE (%)
T_0	0,51	7,92	0,06
T_1	0,48	6,37	13,79

En las tablas 8 y 9 se evidencia que no hay diferencias significativas de la actividad de agua y el contenido de humedad del almidón sometido a tratamiento enzimático y del almidón sin ningún tipo de tratamiento.

Tabla 8

Análisis de varianza de A_w frente a tratamiento

FUENTE	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	1	0,001442	0,001442	3,09	0,153
Error	4	0,001863	0,000466		
Total	5	0,003305			

S = 0,02158 R-cuad. = 43,62 %; R-cuad. (ajustado) = 29,52 %

Tabla 9

Análisis de varianza de CH frente a tratamiento

FUENTE	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	1	3,58	3,58	1,55	0,282
Error	4	9,27	2,32		
Total	5	12,85			

S = 1,522 R-cuad. = 27,87 %; R-cuad. (ajustado) = 9,84 %

La Tabla 10, por su parte, reporta diferencias significativas del equivalente de dextrosa sobre los tratamientos evaluados.

Tabla 10

Análisis de varianza de DE frente a tratamiento

FUENTE	GL	SC	CM	F	P
Tratamiento	1	282,6742	282,6742	293009,74	0,000
Error	4	0,0039	0,0010		
Total	5	282,6781			

S = 0,03106 R-cuad. = 100,00 %; R-cuad. (ajustado) = 100,00 %

La actividad de agua es considerada uno de los factores de calidad más importantes, especialmente para el almacenamiento a largo plazo. Está relacionada con el contenido de humedad y las reacciones bioquímicas. Los valores de actividad de agua inferiores a 0,6 son considerados como microbiológicamente estables y valores entre 0,20 y 0,40 aseguran la estabilidad del producto frente al pardeamiento, las reacciones hidrolíticas, la oxidación lipídica, la autooxidación y la actividad enzimática (Caliskan y Nur Dirim, 2013). El valor promedio de la actividad de agua para la maltodextrina (0,48) sugiere que como agente encapsulante este producto puede ser estable microbiológica, bioquímica y enzimáticamente. Por su parte, el empleo de maltodextrina para la microencapsulación actúa como una barrera física para el oxígeno e inhibe las degradaciones químicas y enzimáticas. Esto gracias al bajo contenido de humedad (Sansone *et al.*, 2011) y por ser higroscópica (López M., Carvajal de P. y Millá C., 2009).

La dextrosa equivalente es una manera de expresar porcentualmente los enlaces glucosídicos que se han hidrolizado mediante la medición del poder reductor de la glucosa dividido entre el total de carbohidratos (Marchal *et al.*, 1999). Las maltodextrinas se clasifican según su grado de hidrólisis, expresado como equivalentes de dextrosa (Lozano, 2009). Estos productos tienen un DE inferior a 20 (Klinkesorn, Sophanodora, Chinachoti y McClements, 2004).

El valor de DE obtenido para la maltodextrina (13,79 %) muestra que hubo una adecuada hidrólisis enzimática del almidón. Aguilar (2008) reporta un valor de dextrosa equivalente de 25,54 para la maltodextrina obtenida bajo las condiciones de 12,5 % de pulpa de plátano, 0,04 % de α -amilasa y 90 minutos de reacción a 70°C. Según la literatura, se recomienda el uso de maltodextrinas que contengan de diez a quince DE como agente encapsulante en el proceso de secado por aspersión de jugos de frutas verduras y adición de sabores (Candelas, Alanís, Bautista, Del Río, y García, 2005), por lo que la maltodextrina obtenida en este estudio es propicia para ese proceso.

Análisis de color y curvas de empastamiento

El color es un factor de calidad importante, ya que refleja el atractivo sensorial y la calidad de los productos pulverizados. A pesar de que un alimento funcional puede proporcionar varios beneficios para la salud a los consumidores, sin la atracción visual no puede ser comercializable (Caliskan y Nur Dirim, 2013). Los resultados de la medición de color para el almidón y la maltodextrina se muestran en la Tabla 11. Los valores de color (L^* , C^* , H^* y ΔE^*) para la maltodextrina fueron influenciados significativamente por el tratamiento enzimático.

De acuerdo con la escala de diferencia de color descrita por Goyeneche *et al* (2014), se evidenció un gran cambio de color en la maltodextrina.

La maltodextrina presentó una luminosidad o claridad mayor a la del almidón, mientras que el croma o pureza del color fue menor. El ángulo de tono indica que el color de la maltodextrina está ubicado en el primer cuadrante y se inclina hacia el color amarillo, $5,27^\circ$ más que el almidón. En cuanto a la diferencia del color, se puede ver un efecto significativo de la hidrólisis enzimática y del secado de la maltodextrina por atomización en el *Spray-dryer*.

Tabla 11

Valores promedios de la luminosidad (L^*), el croma (C^*), el ángulo de tono (H^*) y la diferencia de color (ΔE^*), en almidón (T_0) y maltodextrina (T_1).

	LO^*	L^*	CO^*	C^*	HO^*	H^*	ΔE^*
T_0	28,07	28,07	9,25	9,25	70,88	70,88	0,00
T_1	28,07	36,41	9,25	6,66	70,88	76,15	8,77

Las Figuras 7 representan las curvas de empastamiento para los almidones con y sin tratamiento enzimático. La Figura 7A corresponde al almidón de cáscara de plátano y la Figura 7B para maltodextrina. Se evidencia el efecto de la hidrólisis enzimática sobre la viscosidad de la maltodextrina debido a la diferencia en la viscosidad desarrollada con respecto al almidón.

Conclusión

La maltodextrina obtenida a partir del almidón de cáscara de plátano representa una alternativa de valor agregado para esta agrocadena. La DE obtenida es adecuada para su evaluación como material de recubrimiento.

Bibliografía

- Agronet, y MADR. (2013). Principales departamentos productores de plátano ordenados por producción.
- Aguilar, A. (2008). *Tratamiento enzimático de la pulpa de plátano (Musa paradisiaca L) para la obtención de jarabe de glucosa y fibra dietética*. Maestría en ciencias y en desarrollo de productos bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos.

Figura 7A

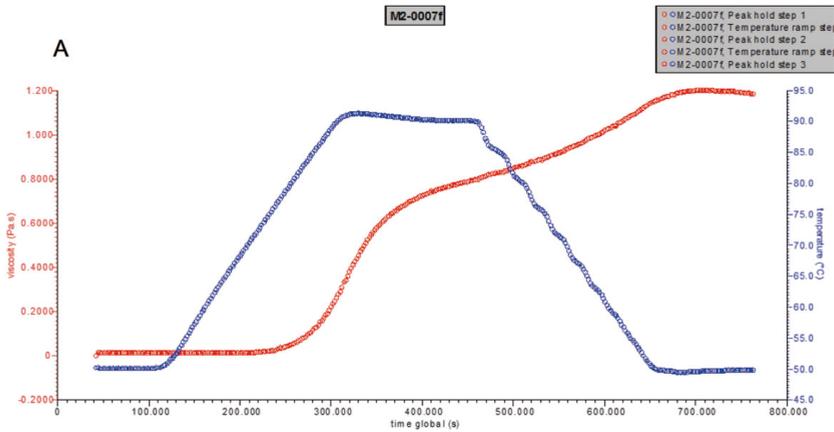
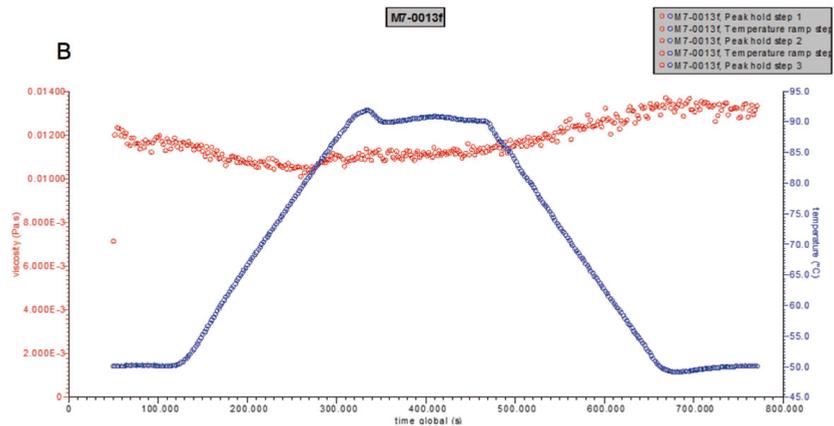


Figura 7B



- AOAC. (2000). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists 932.12 Fruits and fruit products. Solids (Soluble) in Fruits and Fruit Product: Refractometer Method (Vol. 932.12, pp. 7). Arlington; Virginia, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Belalcázar, Sylvio, Valencia, Jorge, y Lozada, Jesús. (1991). La planta y el fruto. In B. Sylvio (Ed.), Manual de asistencia técnica N. 50 ICA. El cultivo de plátano en el trópico Cali: Impresora Feriva Ltda.

- PALENCIA, G.; GOMÉZ, R. MARTÍN, J. (2006). *Manejo sostenible del cultivo del plátano*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Bucaramanga: Produmedios Editorial.
- CALISKAN, G. y NUR D. (2013). “The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract”. In: *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), pp. 539–548. doi: 10.1016/j.fbp.2013.06.004
- CANDELAS, M.; ALANÍS, M.; BAUTISTA, M.; DEL RÍO, F y GARCÍA, C. (2005). “Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersión”. En: *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4(3).
- GOYENECHÉ, R.; AGÜERO, M.; ROURA, S. y DI SCALA, K. (2014). “Application of citric acid and mild heat shock to minimally processed sliced radish: color evaluation”. In: *Postharvest Biology and Technology*, 93, 106–113. doi: 10.1016/j.postharvbio.2014.02.011
- KLINKESORN, U.; SOPHANODORA, P.; CHINACHOTI, P. y MCCLEMENTS, D. (2004). “Stability and rheology of corn oil–in–water emulsions containing maltodextrin”. In: *Food Research International*, 37(9).
- LÓPEZ, B.; CARVAJAL, L. y MILLÁN, L. (2009). “Establecimiento de condiciones de la mezcla de pulpa de banano (*Musa paradisiaca* L.) para someter a secado por aspersión”. En: *Revista Vitae*, 16 (3).
- LOZANO, M. (2009). *Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de Opuntia stricta mediante secado por atomización*. Universidad Politécnica de Cartagena. Tomado de: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/954/1/pfc3022.pdf>
- MADR. (2013). *Anuario Estadístico del Sector Agropecuario 2012. Evaluaciones Agropecuarias Municipales*. Bogotá, D.C.
- MARCHAL, L. M.; VAN DE LAAR, A.; GOETHEER, E.; SCHIMMELPENNINK, E.; BERGSMÁ, J.; BEEFTINK, H. y TRAMPER, J. (1999). “Effect of temperature on the saccharide composition obtained after a–amylolysis of starch.pdf”. In: *Biotechnology and bioengineering*, 63 (3).
- MARTÍNEZ, P.; REYES, H.; RODRÍGUEZ, J. y VARGAS, L. (2013). *Indicador de innovación. Aprovechamiento integral de un vegetal*. Tomado de:

- <http://congreso2013.riicyt.org/files/mesas/2bInnovacion/YepesReyesRodriguez.pdf>
- Mazzeo M, Miguel, Alzate G, Angela, y Marín M, Mario. (2008). <aprovechamiento industrial de residuos en caldas.PDF>. *Vector*, 3, 57–69.
- MOTATO, K.; MEJÍA, A. y LEÓN, A. (2006). “Evaluación de los residuos agroindustriales de plátano (*Musa paradisiaca*) y aserrín de abarco (*Cariniana piriformes*) como sustratos para el cultivo del hongo *Pleurotus djamor*. En: *Revista Vitae*, 13 (1).
- SANSONE, F.; MENCHERINI, T.; PICERNO, P.; D’AMORE, M. y LAURO, M. (2011). “Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts”. In: *Journal of Food Engineering*, 105(3).
- VIDAL, F.; PEREIRA, E.; VÁZQUEZ, R.; SOTOLONGO, J.; QUINTANA, Y. y ORTIZ, A. (2001). “Efecto de la suplementación con seudotallo de plátano sobre la salud y el peso al sacrificio de cerdos comerciales. En: *Revista Producción Animal*, 13 (1).
- VIDOVIĆ, S.; VLADIĆ, J.; VAŠTAG, Ž.; ZEKOVIĆ, Z. y POPOVIĆ, L.. (2014). “Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in Satureja montana dry powder extract obtained by spray drying technique”. In: *Powder Technology*, 258.

Uso potencial de los subproductos de la agroindustria piscícola en Colombia

José Luis Hoyos Concha*

Resumen

El presente documento tiene como objetivo socializar un estudio de caso, en el cual se observa cómo la aplicación de biotecnología agroindustrial puede impulsar cambios en cadenas productivas locales y regionales, particularmente en piscicultura. Esta actividad –que se encuentra en aumento en el departamento del Cauca gracias al apoyo brindado a través de planes para el mejoramiento competitivo de tilapia, trucha y cachama– no cuenta con un plan para el manejo de subproductos, lo que la torna en un problema ambiental que requiere urgente mitigación. El aspecto ambiental, unido a los costos de producción en los que la alimentación representa cerca del 60 %, requiere investigaciones que permitan implementar tecnologías de bajo costo y sostenibles en el tiempo. Por tanto, la interacción universidad–empresa–Estado debe generar alternativas para el fortalecimiento empresarial mediante la transferencia tecnológica a través de emprendimientos de base tecnológica y la creación de centros de desarrollo tecnológico. Estas actividades, unidas a estrategias para la consolidación de redes de productores locales, lograrían la apropiación del conocimiento necesario para el desarrollo de procesos de investigación a largo plazo.

* Profesor asociado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca, Colombia.

Summary

This document aims to socialize a case study in which it is shown that the application of agro-biotechnology may drive changes in local and regional productive supply chains, particularly in fish farming. This activity is increasing in the department of Cauca due to plans provided by the State to better the competitive improvement for tilapia, trout and pacu, does not have a contingency plan for handling byproducts, becoming an environmental problem that requires urgent mitigation. The environmental aspect linked to production costs, where food accounts for about 60 % of its costs, requires research to implement technologies at low cost and sustainable over time. Therefore, the University-Industry-State must generate alternatives for strengthening businesses through technology transfer by means of technology-based entrepreneurship and the creation of centers of technological development. These activities together with strategies for the consolidation of networks of local producers will grant appropriate knowledge that will facilitate the development process of long-term research.

Introducción

La pesca de captura y la acuicultura suministraron al mundo 154 millones de toneladas de pescado en 2011, de las cuales el 29 % corresponde a acuicultura continental con 63,6 millones de toneladas (FAO, 2012). La tendencia de crecimiento de la acuicultura en Colombia es positiva, con una producción de 82.733 toneladas en 2011 y aunque muestra una menor aceleración que otros países de Latinoamérica, supera por mucho la tasa media del crecimiento del resto del sector agropecuario y del conjunto total de la economía nacional con un 12 % (Aunap, 2013).

En el departamento del Cauca, la actividad piscícola se lleva a cabo hace más de 25 años por productores de la zona de la represa de La Salvajina en los municipios de Suárez y Silvia, donde el cultivo de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) se ha fortalecido en los últimos años, hasta ser la principal especie cultivada del departamento, con 624 toneladas al año (Aunap, 2013). En particular, el municipio de Silvia cuenta con 124 piscifactorías que generan aproximadamente 70 toneladas de subproductos al año (Apropesca, 2014), de alto valor biológico y con potencial para ser utilizados como fuente de nutrientes en la formulación de dietas para especies menores.

Actualmente se encuentra en ejecución un proyecto financiado por el Sistema General de Regalías denominado *Alternativas para el uso de subproductos derivados de la agroindustria piscícola*, ejecutado por la Universidad del Cauca en

colaboración con el Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca (Crepic) y asociaciones de piscicultores del departamento del Cauca, el cual propone el aprovechamiento integral los coproductos de la actividad piscícola.

A continuación se describen las estrategias generales para lograr un efecto positivo a largo plazo, a partir de la concepción de una cadena productiva y la implementación de estrategias agroindustriales.

Innovación

La aplicación de estrategias para el manejo de adecuado de los subproductos y la transición de los desarrollos desde el laboratorio a la industria, son uno de los mayores retos. La innovación de procesos y productos debe permitir que las técnicas desarrolladas se conviertan en emprendimientos de base tecnológica. Dentro de estas, la tecnología de ensilaje es reconocida como una solución útil en el manejo de los subproductos generados por la actividad piscícola mediante la generación de cambios físicoquímicos y microbiológicos que no solo evitan procesos indeseables como la oxidación de grasas, sino que también mejoran las propiedades nutricionales, aumentan la disponibilidad de nutrientes y confieren mayor estabilidad y durabilidad a bajo costo (Rai *et al.*, 2010). A continuación, se describen algunos de los productos por desarrollar y la estrategia general para su obtención.

El ensilado de pescado es un producto de alto valor biológico y un suplemento proteico de alta calidad. Puede ser almacenado a temperatura ambiente por tiempo prolongado sin que se reduzca su valor nutritivo y la calidad higiénica (Vidotti *et al.*, 2002). Presenta características y aportes nutricionales superiores o semejantes a la harina de pescado, lo que lo hace útil como ingrediente para las formulaciones de alimentos concentrados o aditivo diario artesanal en la alimentación animal (González *et al.*, 2006).

La fracción lipídica en subproductos piscícolas es una fuente importante de ácidos grasos esenciales (Crexi *et al.*, 2010). Los métodos de extracción incluyen la cocción, el uso de solventes y en la actualidad extracción por fluidos supercríticos, extracción por vía enzimática y extracción por ensilajes ácidos (también conocidos como químicos) o biológicos (Lara *et al.*, 2014; Batia *et al.*, 2010). La recuperación de aceite de pescado a partir de ensilaje, ha sido considerada una alternativa a la producción tradicional, dada la calidad del aceite producto de los nuevos métodos de recuperación, sobre todo si se tiene en cuenta que el ensilaje es un método de hidrólisis de proteínas efectuado a temperatura media, lo cual

previene la oxidación de lípidos que ocurre a altas temperaturas (superiores a 95 °C) en los procesos de recuperación convencional (Goosen *et al.*, 2014).

El uso de microorganismos probióticos en el ensilaje biológico es una opción efectiva en la atenuación de los efectos del estrés, la promoción del crecimiento y la reducción de enfermedades al suministrarse en dietas para peces. En acuicultura se utilizan probióticos comerciales cuya eficacia está en función de una buena comprensión de la ecología microbiana de las especies cultivadas. Es de resaltar que en organismos acuáticos la microflora es transitoria y está constantemente influenciada por las condiciones de su medio. En este sentido, la búsqueda de cepas probióticas silvestres que adaptadas a la dinámica de la acuicultura es una elección promisoría en la obtención de productos probióticos (Ibrahem, 2013; Sharifuzzaman *et al.*, 2014).

Los subproductos piscícolas poseen gran potencial gracias a su abundante contenido de biomoléculas como proteínas, lípidos, minerales, enzimas y quitina, entre otras, que los convierten en una opción importante en la elaboración de productos con valor agregado (Ramírez, 2009). Por tanto, los estudios relacionados con la recuperación de pigmentos como la antaxantina; polímeros como la quitina, el quitosano y el ácido hialurónico y péptidos bioactivos fundamentales en la regulación y modulación metabólica, con potencial nutracéutico y funcional para la promoción de la salud y la reducción del riesgo de enfermedad, deben ser evaluados con miras a su aplicación al sector productivo. Los procesos de investigación priorizados de acuerdo con la vigilancia y la prospectiva tecnológicas en el área de aplicación, deben permanecer activos. Asimismo, la creación de centros de investigación o desarrollo tecnológico debe erigirse en una estrategia que facilitaría la continuidad de las apuestas de investigación.

Fortalecimiento de la cadena productiva

La articulación y la transferencia tecnológica promueven relaciones de confianza entre los actores de la cadena, especialmente entre los investigadores y los grupos de investigación que los respaldan y los productores rurales de pequeña escala, quienes asumirán la implementación y apropiación de la innovación tecnológica resultado de la investigación. Este componente impulsa la apropiación social de las nuevas tecnologías desarrolladas y dirigidas a los sujetos involucrados en la producción de la cadena productiva. Una estrategia participativa de gran importancia es la comunidad de práctica, que permite que los ejecutores y beneficiarios del proyecto generen nuevo conocimiento de acuerdo con la retroalimentación de los resultados obtenidos.

Generación de emprendimientos de base tecnológica

Las empresas de base tecnológica (EBT) se refieren al nuevo tipo de empresas basadas en el dominio intensivo del conocimiento científico y tecnológico para mantener su competitividad. Para el caso de este proyecto, la creación de una EBT cobra importancia capital en la medida en que permite potenciar la innovación en los procesos de investigación y desarrollo que se adelantan en los laboratorios, en virtud de su capacidad para transformar los logros científicos en productos que puedan ser llevados al mercado. Adicionalmente, es posible consolidar los procesos de innovación social que giran alrededor de la actividad productiva piscícola en el Cauca mediante un ciclo empresarial en el cual los productores se convierten en proveedores de insumos para la EBT mediante el suministro de vísceras y al mismo tiempo sus clientes mediante la adquisición del alimento concentrado, involucrando de esta manera a las personas en una actividad empresarial que redundará en beneficios ambientales, económicos y sociales.

La inversión en investigación es una estrategia a largo plazo en la que confluyen la capacidad para la formación de talento humano vinculado al proceso, la participación de todos los eslabones de la cadena productiva y el apoyo continuado del Estado, lo cual facilitará la obtención de los resultados que tanto requiere el sector agropecuario e industrial colombiano.

Bibliografía

- Asociación Productora y Comercializadora de Productos Acuícolas y Agrícolas de Silvia, Cauca (Apropesca). (2014). Estadísticas internas.
- Autoridad Nacional de Pesca y Acuicultura (AUNAP). (2013). *Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia*.
- CREXI, V.; MONTE, M.; SOUZA, S.; LUIZ, A. (2010). "Production and refinement of oil from carp (*Cyprinus carpio*) viscera". In: *Food chemistry*, 119.
- Food and Agriculture Organization for the United Nations (FAO). 2012. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. ISBN 978-92-5-307225-5. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Departamento de pesca y Acuicultura. <http://www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf>

- GONZÁLEZ, R.; TORRES, R.; DARDO, M.; BONALDO, A. (2006). “Effects of extrusion conditions and structural characteristics on melt viscosity of starchy materials”. In: *Journal of Food Engineering* 74.
- GOOSEN, J.; DE WET, L.; GÖRGENS, J.; JACOBS, K.; DE BRUYN, A. (2014). “Fish silage oil from rainbow trout processing waste as alternative to conventional fish oil in formulated diets for Mozambique tilapia *Oreochromis mossambicus*”. In: *Animal Feed Science and Technology* 188.
- IBRAHEM, M. (2013). “Evolution of probiotics in aquatic world: Potential effects, the current status in Egypt and recent perspectives. In: *Journal of Advanced Science*.
- LARA, M.; PETENUCCI, M.; FONSECA, G. (2014). “Production and characterization of crude and refined oils obtained from the co-products of Nile tilapia and hybrid sorubim processing”. In: *Food Chemistry*, 157.
- MBATIA, B.; ADLERCREUTZ, D.; ADLERCREUTZ, P.; MDHY, A.; MULAA, F.; MATTIASSON, B. (2010). “Enzymatic oil extraction and positional analysis of ω -3 fatty acids in Nile perch and salmon heads”. In: *Process Biochemistry*, 45.
- RAMÍREZ, J. C. 2009. *Aprovechamiento de fauna de acompañamiento del camarón y subproductos pesqueros mediante la elaboración de ensilado de pescado*. México, D.F. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad de Itztapalapa. Departamento de Biotecnología.
- RAI, A.; SWAPNA, H.; BHASKAR, N.; HALAMI, P.; SACHINDRA N. (2010). “Effect of fermentation ensilaging on recovery of oil from fresh water fish viscera”. In: *Enzyme and Microbial Technology*, 46.
- SHARIFUZZAMAN, S.; AL-HARBI, A.; AUSTIN B. (2014). “Characteristics of growth, digestive system functionality, and stress factors of rainbow trout fed probiotics *Kocuria* SM1 and *Rhodococcus* SM2”. In: *Science Direct, Aquaculture*, 34.
- VIDOTTI, R. (2003). “Amino acid composition of processed fish silage using different raw materials. Short communication. In: *Animal Feed Science and Technology*, 105.

El fruto del ackee (*Blighia sapida*)

Caracterización y evaluación del efecto antidiabético

Gloria Carmenza Rodríguez de la Pava*

Resumen

El presente trabajo es una recopilación de avances y resultados obtenidos, que forman parte de un proyecto de investigación sobre el ackee (*Blighia sapida*) y su actividad antidiabética.

En una primera etapa se realizó la caracterización química del ackee cultivado en Jamundí, Valle del Cauca Colombia, con análisis para la determinación de la composición promedio según los protocolos de la AOAC. El ackee tiene un alto valor nutricional por sus contenidos de carbohidratos, proteína y grasa.

Posteriormente, se evaluó el efecto antidiabético de un extracto de ackee (*Blighia sapida*) en biomodelos inducidos a diabetes con Alloxan[®]. Se efectuaron cinco tratamientos con diferentes concentraciones, aplicados por vía oral durante un período de diez semanas, tiempo durante el cual se obtuvieron datos del nivel de glucosa y el peso de los biomodelos. De la anova correspondiente se pudo determinar que no se presentaron diferencias significativas, lo que permite concluir que los tratamientos aplicados tienen igual efecto; es decir disminuyen los niveles de azúcar en sangre. Se pudo demostrar la efectividad del extracto, que permitió reducir los niveles de glucosa desde valores de 200 mg/dl hasta aproximadamente 95 mg/dl. Con respecto a la variación del peso de los animales, la aplicación de los tratamientos no influyó significativamente en el peso de los biomodelos, ya que no fueron privados de alimento y el ackee –y en alguna medida, su extracto– es fuente de proteína, carbohidratos y grasa.

* Universidad de San Buenaventura Cali, Colombia.

Abstract

The present work is a compilation of progress and results that are part of a research project on the ackee (*Blighia sapida*) and antidiabetic activity.

In a first step the chemical characterization of ackee Jamundí grown in Valle del Cauca Colombia, with analysis for the determination of the average composition following the protocols of the AOAC performed. Ackee has high nutritional value for their contents of carbohydrate, protein and fat.

Subsequently, the antidiabetic effect of an extract of ackee (*Blighia sapida*) in biomodels Alloxan[®] induced diabetes was evaluated. 5 treatments with different concentrations, when applied orally for a period of 10 weeks, during which, data of blood glucose and weight were obtained biomodels performed. In the corresponding anova it was determined that no significant differences occurred, leading to the conclusion that the applied treatments have equal effect, ie lower levels of blood sugar. It was possible to demonstrate the effectiveness of the extract, which reduced glucose levels from values w 200 mg / dl to about 95 mg / dl. Regarding the weight variation of animals, the application of the treatments did not significantly influence the weight of biomodels, because they were not deprived of food and ackee, and to some extent its extract is a source of protein, carbohydrate and fat.

Introducción

La diabetes es una enfermedad crónica no transmisible, asociada a factores genéticos y ambientales como la obesidad, el sedentarismo y las dietas ricas en grasas y azúcares, que se presenta cuando el páncreas detiene la producción de insulina o si la produce, no es utilizada de manera eficiente por el organismo (Steyn *et al.*, 2007).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que esta enfermedad se encuentra entre las principales causas de muerte y discapacidad en la región de las Américas y según la Asociación Colombiana de Diabetes. Actualmente, alrededor de un millón de personas en el país están afectadas por esta enfermedad, un desorden metabólico caracterizado por hiperglicemia y alteraciones en el metabolismo de carbohidratos, grasas y proteínas y puede lesionar casi todos los órganos del cuerpo. Los medicamentos convencionales utilizados para su control son costosos y producen en algunos casos efectos secundarios adversos. Por ello, se hace indispensable buscar alternativas para su control con productos hipoglucemiantes de plantas o frutos con actividad antidiabética, ya sea como entidades farmacéuticas o coadyuvantes de las terapias existentes, por lo cual

es imperante validar científicamente su efectividad para implementar su uso (Riquett y Solórzano, 2013).

El ackee (*Blighia sapida*) es una especie vegetal nativa de África occidental, que pertenece a la familia de las sapindáceas. Su fruto tiene forma de cápsula con tres arilos de color crema que recubren una semilla negra y brillante (Blake et al., 2004; Safiyyah y Minott, 2012).

Esta especie tiene un gran potencial agroindustrial. Fresca o procesada, forma parte importante de la dieta alimenticia de algunos países de África y del Caribe, al punto de que en Jamaica es considerado el fruto nacional. En la medicina tradicional de estos países, se utiliza para combatir enfermedades como la disentería, la conjuntivitis y los dolores de cabeza. De sus hojas se producen jabones y productos cosméticos y la corteza es apreciada por su gran resistencia. En estudios recientes llevados a cabo en tres zonas climáticas de Benin (África occidental), ocupó la cuarta posición entre cuarenta y tres de las especies pertenecientes a los sistemas agroforestales tradicionales y sus principales usos se presentan en alimentación, medicina y obtención de alimentos procesados (Assogbadjo et al., 2012).

En Colombia su cultivo es aislado y se utiliza como árbol ornamental. Es común encontrarlo en la zona bananera, en el Sinú, Antioquia, Valle del Cauca y en Caldas (Pérez, 1996). Según Plata y Utria (2011), el fruto del ackee puede ser un aliado en la lucha contra la desnutrición en Colombia, en especial para la región Caribe. Afirman que con la planeación y desarrollo de una campaña de siembra y manejo de este árbol, se ayudaría a mejorar la calidad alimenticia de los niños de esa región. El valor nutricional del ackee es muy alto. Esta fruta contiene proteínas, calcio, hierro, vitaminas A, B y C y otros nutrientes que nuestro cuerpo necesita y utiliza. Además de su valor nutricional, el ackee presenta actividad hipoglucemiante, atribuida a la presencia de dos compuestos: hipoglicina A (*ácido L- α -amino- β -metilenciclopropil propiónico*) y la hipoglicina B (*γ -glutamihipoglicina*), pero sus concentraciones en el fruto dependen de la variedad, el estado de madurez, las condiciones de cultivo y el lugar de procedencia (Gaillard et al., 2011).

Materia prima

El ackee utilizado en esta investigación, fue recolectado de árboles en el municipio de Jamundí, Valle del Cauca. Se seleccionó de acuerdo con su estado de madurez y se separaron las cáscaras, las semillas y el arilo.

Para la obtención del extracto, los arilos se redujeron de tamaño y se hizo una extracción con etanol y posterior uso de rotoevaporador a 50 °C, 70 mbar y 120 rpm. El extracto obtenido se almacenó en frascos ámbar y se refrigeró.

Los animales de experimentación (ratones balb/c, machos de seis semanas de edad con peso aproximado de 27g), fueron suministrados por el bioterio de la Universidad del Valle, previo cumplimiento de los requisitos para el trabajo ético con animales. Luego de un período de adaptación de dos semanas, se les suministró un alimento comercial y agua *ad libitum*. Recibieron doce horas de luz y doce de oscuridad, con ventilación adecuada durante el día y temperatura promedio de 26 °C. Cada biomodelo fue marcado y puesto en una jaula debidamente adecuada. Los ratones utilizados se indujeron a diabetes con la aplicación de Alloxan®, con dosis de 75 mg/kg de peso corporal. Para la determinación del nivel de glucosa, se utilizó un glucómetro portátil AccuChek Comfort® (Roche) y las muestras de sangre se obtuvieron por incisión en la porción distal de la cola del animal.

Para la evaluación del efecto hipoglucemiante del extracto del ackee, se efectuaron cinco tratamientos con diferentes concentraciones. Se utilizaron ratones balb/c repartidos aleatoriamente en cinco grupos para la aplicación de los tratamientos. Cuatro tratamientos se aplicaron a animales con diabetes inducida (tres con diferentes concentraciones del extracto: 50 %, 30 %, 10 % y uno con insulina) y un tratamiento con concentración del extracto de 50 % con ratones sin diabetes. Los animales se consideraban diabéticos cuando el nivel de glucosa superaba los 200 mg/dl. Cada tratamiento se aplicó por vía oral durante diez semanas y se suplantó diariamente el agua con el extracto del ackee. Cuando los niveles de glucosa se estabilizaron, el suministro de los cinco tratamientos fue suspendido y nuevamente se suministró agua como bebida por una semana. Terminado este proceso, los biomodelos fueron sacrificados utilizando la dosis adecuada de Eutanex® y debidamente eliminados como desechos de riesgo biológico.

Diseño estadístico

El diseño experimental utilizado en esta investigación fue un diseño completamente al azar con nivel de significancia de 0.05; las variables de respuesta fueron nivel de glucosa en sangre y peso de los animales de experimentación. El análisis estadístico de los resultados se realizó mediante el Software SPSS versión 19, y se usó la prueba de Tukey para el análisis post-varianza.

Resultados

El fruto del ackee está compuesto por una parte comestible (el arilo) y otra no comestible (cáscaras y semillas). Los valores promedio en peso encontrados de cada uno de ellos en el fruto en estado medio de madurez fueron 17 %, 76 % y 7 %, respectivamente.

Los valores promedio de la composición porcentual del fruto del ackee (*Blighia sapida*) cultivado en Jamundí, Valle del Cauca, se presentan en la Tabla 12. Se hallaron pequeñas diferencias con los valores reportados por Morton y Samuel, las cuales pudieron deberse al tipo de especiación, las condiciones medioambientales de cada sitio específico y los métodos de análisis utilizados por cada investigador

Tabla 12
Composición porcentual ackee

COMPONENTE	PORCENTAJE EN PESO (%)
Humedad	58.7
Proteína	8.81
Grasa	17.75
Fibra	2.12
Carbohidratos	11.05
Ceniza	1.4

Para cada uno de los tratamientos, se obtuvieron datos de nivel de glucosa y peso durante el tiempo de aplicación. Los resultados de variación del nivel de glucosa, se muestran en la Figura 8 y los de variación de peso en la Figura 9.

Conclusiones

Dado su alto valor nutricional, el fruto del ackee representa una alternativa como ingrediente de la dieta alimentaria; sin embargo, es necesario hacer campañas tanto para la siembra como para el consumo en estado adecuado de madurez, ya que si no se consume cuando está completamente maduro, puede afectar gravemente la salud e incluso provocar la muerte.

Al ser suministrado a los biomodelos, el extracto de arilo de ackee permitió reducir los niveles de glucosa desde valores promedio de 200 mg/dl hasta aproximadamente 95 mg/dl durante el tiempo de tratamiento.

Figura 8
Variación niveles de glucosa en los biomodelos

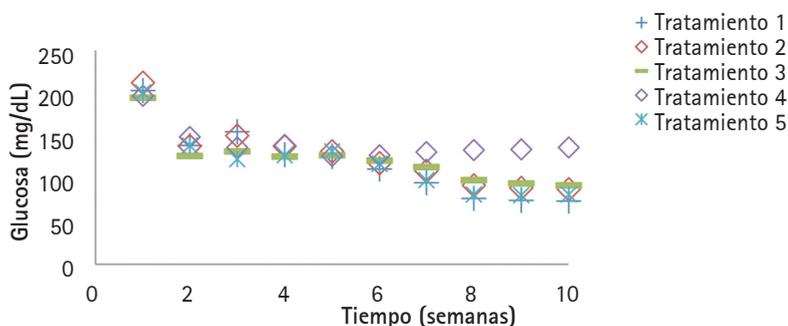
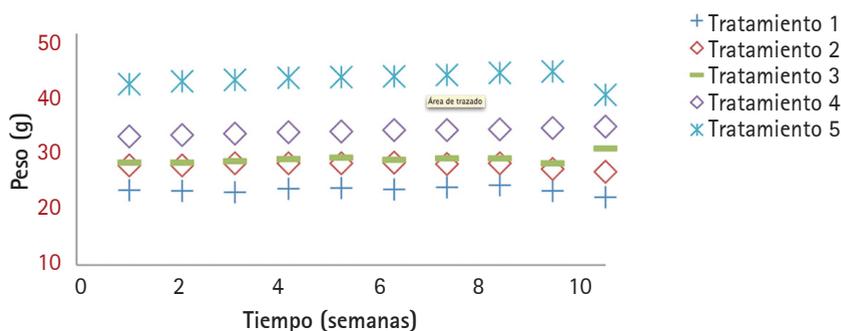


Figura 9
Variación peso en los biomodelos



El extracto del arilo del fruto del ackee, podría ser de gran utilidad como coadyuvante en el tratamiento y control de diabetes y se plantea la posibilidad de estudiar la manera de ser utilizado en dosis adecuadas para evitar complicaciones asociadas al grado de toxicidad.

Bibliografía

- ASSOGBADJO, A.; GLÈLÈ R.; VODOUHÈ F.; DJAGOUN, C.; CODJIA, J.; SINSIN, B. (2012). "Biodiversity and socioeconomic factors supporting farmers' choice of wild edible trees in the agroforestry systems of Benin (West Africa). In: *Forest Policy and Economics* 14.

- BLAKE, O.; JACKSON, J.; JACKSON, M.; Gordon, C. (2004). “Assessment of dietary exposure to the natural toxin hypoglycin in ackee (*Blighia sapida*) by Jamaican consumers”. In: *Food Research International*, 37(8).
 - BOWEN-FORBES, C.; y MINOTT, D. (2011). “Tracking Hypoglycins A and B over Different Maturity Stages: Implications for Detoxification of Ackee (*Blighia sapida* K.D. Koenig) Fruits”. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59.
 - GAILLARD, Y.; CARLIER, J.; BERSCHT, M.; MAZOYER, C.; BEVALOT, E.; GUITTON, J.; FANTON, L. (2011). “Fatal intoxication due to ackee (*Blighia sapida*) in Suriname and French Guyana. GC-MS detection and quantification of hypoglycin-A”. In: *Forensic Science International*, 206.
 - PÉREZ E. (1996) . *Plantas útiles de Colombia*. Bogotá: Ediciones Fondo Fen Colombia, DAMA, Jardín Botánico “José Celestino Mutis”. Quinta edición.
 - PLATA, S.; UTRIA, R. (2011). “El ackee: salud, nutrición y cultura”. En: *Salud Uninorte*. 27(1).
 - RIQUETT, D. y SOLÓRZANO, E. (2013). “Actividad hipoglucemiante de *Chamaedorea tepejilote* Liebm. (Pacaya)”. En: *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(1).
 - SAFIYYAH J.; DUNDEE, D. (2012). “Impact of seed size on residual hypoglycin levels in ackee” In: *Food Research International* 47.
 - STEYN, N.; MANN, J.; BENNETT, P.; TEMPLE, N.; ZIMMET, P.; TUOMI-LEHTO, J.; LINDSTRÖM, J. (2007). “Diet, nutrition and the prevention of type 2 diabetes”. In: *Public Health Nutr.*; Vol. 7, No. 1a.
- TORIBIO, M.; SKLIAR, M. (2001). “Efecto hipoglucemiante de *Verbesina encelioides*. En: *Ciencia veterinaria*. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de la Pampa.

Aprovechamiento de residuos agroindustriales proteicos como fuente de péptidos activos contra hongos y bacterias patógenos presentes en alimentos

Carlos David Grande T.*
Xiomara Lemos*
Johannes Delgado*
Clemencia Chaves**

Resumen

Actualmente, se conoce el daño que causan diversos agentes patógenos como hongos y bacterias sobre alimentos, tanto en los cultivos como en la etapa de refrigeración, lo que los convierte, además, en elementos potencialmente peligrosos para la salud humana debido a la generación de sustancias llamadas micotoxinas, causantes de grandes pérdidas en los cultivos, desórdenes gástricos, enfermedades del hígado y cáncer. Se han utilizado múltiples tecnologías y agentes químicos para el control de estos patógenos, las cuales van desde el control de semillas y la rotación de cultivos hasta el empleo de fungicidas y bactericidas sintéticos, que pueden llegar a ser tóxicos debido a la permanencia de residuos en los alimentos. Por todo lo anterior, se han buscado métodos alternativos y de origen natural para el control de estos patógenos, entre los que se encuentra la

* Programa de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura Cali, Colombia.

** Faculty of Bioscience and Technology for Food, Agriculture and Environment, Univ. of Teramo.

aplicación de péptidos con capacidad de inhibir el crecimiento de los agentes infecciosos, que a la vez actúan como agentes de nutrición. Por esta razón, en este trabajo se presenta un método alternativo, económico y ambientalmente seguro, para la producción de péptidos con capacidad fungicida y bactericida a partir del aprovechamiento del suero de leche y de la harina de chachafruto (*Erythrina edulis*).

Palabras clave: fermentación, péptidos bioactivos, residuos proteicos.

Introducción

A nivel mundial, Las pérdidas de cultivos y productos alimenticios por contaminación microbiana son elevadas, especialmente cuando los países importadores exigen altos estándares de calidad en las materias primas. El ataque microbiano se puede presentar si las condiciones de reproducción son adecuadas para su multiplicación (alto contenido de azúcares, agua y daños en la estructura ocasionados por insectos, golpes y demás). En el caso de los productos de panadería, por ejemplo, los hongos son el principal problema de contaminación que afecta directamente el tiempo de vida útil del alimento (Coda *et al.*, 2008).

Dentro de las especies fúngicas más contaminantes de alimentos amiláceos, se encuentran los hongos de las especies *Eurotium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Monilia*, *Mucor*, *Endomyces*, *Cladosporium*, *Fusarium* y *Rhizopus* (Coda *et al.*, 2008).

Los productos sintéticos son, hoy en día, uno de los principales medios de control de enfermedades poscosecha como la antracnosis y el moho gris, originadas por hongos, bacterias y gérmenes como *Coletotrichum gloeosporoides*, *Botrytis cinerea*, perla de tierra, mildes, mosca de la fruta, picudos y barrenadores, que causan el deterioro de los alimentos. Tradicionalmente, para el control de los hongos se acude al uso de fungicidas químicos como el dióxido de azufre, las hidroxianilidas, las anilino pirimidinas, las dicarboximidias, las carboxamidias, los fenilpirroles y las estrobilurinas, entre otros; así como nematocidas, insecticidas y bactericidas; y en el caso de los alimentos, productos preservantes como sales de los ácidos ascórbico, benzoico y sórbico. Sin embargo, estos agentes químicos causan deterioro del suelo y afectan plantas, animales y al medioambiente sin ningún tipo de diferenciación. Además, en los productos alimenticios, los preservativos están fuertemente regulados y se permiten solo niveles mínimos, lo que disminuye su efectividad. En los últimos años, el uso de estos productos sintéticos se ha restringido dado su potencial carcinogénico y teratogénico, su alta toxicidad aguda residual, largo tiempo de degradación, contaminación ambiental y efectos secundarios en los seres humanos (Tripathi y Dubey, 2004).

Adicionalmente, el uso prolongado de fungicidas sintéticos hace que muchas especies de microorganismos generen resistencia a este tipo de control, lo que los convierte en plagas de difícil manejo, a lo que se añade la acumulación de productos químicos en el ambiente, los suelos y las aguas. Por estas razones, se buscan estrategias alternativas de control con el fin de minimizar las pérdidas poscosecha y los riesgos para la salud humana y el medioambiente.

De otra parte, muchos de los residuos agrícolas son ricos en sustancias proteicas y compuestos bioactivos lo cual los hace potencialmente valiosos para aplicaciones industriales. La valorización de estos residuos podría reducir los riesgos ambientales y ser una fuente de recursos para las comunidades que viven de la agroindustria. Recientemente, se ha explorado –con resultados muy prometedores– el uso de hidrolizados proteicos solubles en agua de frijón pinto (*Phaseolus vulgaris* cv.), germen de trigo (*Triticum* spp) y amaranto (*Amaranthus* sp.), obtenidos mediante fermentación, como ingredientes en formulaciones con actividad antifúngica (Coda *et al.*; 2008; Rizzello *et al.*; 2009, 2011). Padraigín *et al.* (2012), evidenciaron la importancia de los residuos de la industria pesquera como fuente de péptidos bioactivos; Dallagnol *et al.* (2012) reportaron la capacidad de *Lactobacilos plantarum* para producir compuestos antifúngicos bioactivos utilizando quinua (*Chenopodium quinoa*) como medio de fermentación, al igual que Albergaria *et al.* (2010), quienes evidenciaron la actividad antifúngica de péptidos producidos por *S. cerevisiae*.

Los péptidos bioactivos son cadenas cortas de aminoácidos que presentan actividad similar a las hormonas. Pueden tener funciones reguladoras a nivel fisiológico a través de interacciones con receptores específicos, que producen respuestas beneficiosas para la salud (Rasmussen *et al.*; 2007). Estos, a su vez, presentan actividad antihipertensiva (inhibidores de la ECA), péptidos antitrombóticos y antioxidantes, entre otras (Larga *et al.*; 2006). Dentro de los péptidos antimicrobianos, se encuentran aquellos emanados de las leguminosas y de las tioninas derivadas de la cebada y el trigo (Coda *et al.*; 2008). Las proteínas y péptidos antimicrobianos, son clasificados con base en su función o estructura en quitinasas, glucanasas, tioninas, ciclofilínicas y tipo taumatina (Ng, 2004). Otras proteínas bien conocidas son las lectinas, inactivadoras de ribosomas, ribonucleasas y deoxirribonucleasas, peroxidases e inhibidoras de proteasas (Ng, 2004).

En este trabajo se presentan los resultados relacionados con la inhibición de algunas bacterias (*B. Cereus*, *P. aurescens*, *E. Coli*, *S. aureus*) y hongos (*Alternaria*, *Colletotrichum*, *Trichoderma* y *Fusarium*) patógenos, a partir de los productos de fermentación de los sustratos harina de chachafruto (*Erythrina edulis*) y del

suero de leche a partir de levaduras con capacidad proteolítica, aisladas de kumis, carne y frutas, entre otras fuentes.

Materiales y métodos

Microorganismos

Las cepas de levaduras utilizadas en este estudio pertenecen al banco de levaduras de la Universidad de San Buenaventura Cali y fueron aisladas de diversas fuentes proteicas regionales, como leche y carne. Se seleccionaron aquellas que mostraron alta actividad proteolítica y se activaron desde cultivos congelados en glicerol al 40 % y -80°C y transferidas inmediatamente al cultivo de YPD. Posteriormente, los microorganismos fueron incubados a 30°C .

Dentro de las cepas de bacterias utilizadas para medir la actividad antibacteriana de los péptidos, se encuentran: *E. coli* ATCC 25922; *S. aureus* ATCC 6538-P; *P. Aeruginosa* ATCC 9027 y *B. Cereus* ATCC 13061. Se utilizó para su crecimiento el medio Müller–Hinton (Sharlau).

Para la evaluación antifúngica se utilizaron las cepas de las especies de hongos *Colletotricum*, *Alternaria*, *Trichoderma* y *Fusarium* en medio YPD, del cepario de hongos del laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad del Valle.

Fermentaciones

Las fermentaciones fueron llevadas a cabo en condiciones aeróbicas y con agitación constante durante diecinueve días, momento en el cual se eleva la temperatura a 75°C durante un minuto para inhibir la reacción y posteriormente el sobrenadante se filtra con un filtro de 0,22 micras. Los sustratos empleados en la fermentación se describen en la Tabla 13.

Tabla 13

Concentraciones de los sustratos empleados para fermentación

TRATAMIENTOS	CONCENTRACIÓN
T1	Caldo nutritivo (8g/l)
T2	Suero de leche, chachafruto (20 g/l)
T3	Caldo nutritivo (8g/l), extracto de levadura (1g/l)
T4	Chachafruto (20g/l)
T5	Suero de leche

La siembra de cada cepa de levadura se hizo por superficie con discos de papel filtro de Merck Millipore (membrana GS de éster de glucosa) con 0,22 micras.

Determinación de azúcares y ácidos orgánicos

La determinación de glucosa, maltosa, fructosa, ácido succínico, ácido cítrico y ácido láctico, se llevó a cabo por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). La muestra se preparó tomando 1,5 ml del producto de fermentación para ser centrifugado a 10.000 rpm durante diez minutos. Posteriormente, el sobrenadante es filtrado a través de un filtro de 0,22 mm y se inyecta al equipo 20 ml. La determinación se hizo utilizando una columna Hi-Plex-H en fase reversa, a 65 °C, con tiempos de corrida de 25 minutos y una fase móvil ácido sulfúrico (H₂SO₄, 5mM).

Análisis de resultados

Las reacciones de fermentación se llevaron a cabo durante diecinueve días a 30 °C por acción de levaduras aisladas de productos lácteos y cárnicos de Colombia. Como se muestra en la Tabla 14, únicamente quince productos de fermentación, tanto de harina de chachafruto como de suero de leche y su combinación, mostraron actividad antibacteriana, especialmente contra *B. cereus*, *P. aeruginosa* y *S. aerus*. De acuerdo con los halos de inhibición, se tiene en promedio una inhibición entre 7 mm y 9 mm, lo cual representa un buen carácter de inhibición para estas bacterias, mientras el pH resultante osciló entre 6.7 y 7.1. La Tabla 15 muestra el análisis de la composición de los sustratos fermentados, lo que demuestra un alto contenido proteico que las levaduras utilizaron luego para alimentarse, generando así péptidos que serán posteriormente identificados por HPLC y electroforesis bidimensional.

Tabla 14
 Actividad antibacteriana obtenida con algunas levaduras analizadas

LEVADURAS	CEPAS BACTERIANAS	INHIBICIÓN				
		T1	T2	T3	T4	T5
L-13	E. coli	-	+	-	-	-
	P. Aeruginosa	-	+	-	-	-
	S. aureus	-	+	-	-	-
	B. cereus	-	-	-	-	-
L-14	E. coli	-	-	-	-	-
	P. Aeruginosa	-	-	-	-	-

LEVADURAS	CEPAS	INHIBICIÓN				
L-18	S. aureus	+	-	-	+	-
	B. cereus	-	-	-	-	-
	E. coli	-	-	-	-	-
	P. Aeruginosa	+	+	-	-	-
L-20	S. aureus	-	-	-	-	-
	B. cereus	+	+	-	-	-
	E. coli	-	+	-	-	-
	P. Aeruginosa	-	+	-	-	-
L-36	S. aureus	-	+	-	-	-
	B. cereus	-	-	-	-	-
	E. coli	-	-	-	-	-
	P. Aeruginosa	-	-	-	-	+
L-44	S. aureus	-	-	-	-	-
	B. cereus	-	-	-	-	-
	E. coli	-	-	-	-	-
	P. Aeruginosa	-	-	-	-	+
L-51A	S. aureus	-	-	-	-	-
	B. cereus	-	-	-	-	-
	E. coli	-	-	-	-	-
	P. Aeruginosa	-	-	-	-	-
L-64A	S. aureus	-	-	-	-	-
	B. cereus	-	-	-	-	-
	E. coli	-	-	-	-	-
	P. Aeruginosa	-	+	-	-	-
L-87	S. aureus	-	-	-	-	-
	B. cereus	-	-	-	-	-
	E. coli	-	-	-	-	-
	P. Aeruginosa	-	-	-	-	-
	B. cereus	-	-	-	-	-

Actividad antifúngica

No se encontró actividad antifúngica en los productos de fermentación, ya que no se presenta resistencia alguna de crecimiento del hongo para todos los tipos de tratamiento analizados hasta ahora.

Tabla 15
 Principales azúcares y ácidos orgánicos identificados por HPLC

LEVADURAS	GLUCOSA	FRUCTOSA	MALTOSA	ÁCIDO ACÉTICO	ÁCIDO SUCCÍNICO	ÁCIDO CÍTRICO	ETANOL	ÁCIDO LÁCTICO
L-13	BLANCO T1	0,475	0,482	0,502	—	0,377	—	0,806
	T1	0,513	0,972	0,694	—	0,432	—	0,432
	BLANCO T2	0,695	1,555	28,961	0,511	0,052	—	7,781
	T2	0,218	0,218	—	—	0,502	13,712	7,150
	BLANCO T3	6,083	0,553	0,681	—	—	0,318	1,097
	T3	0,213	0,510	18,985	0,487	0,170	—	3,935
	BLANCO T4	0,541	0,812	0,791	—	0,030	0,243	0,399
	T4	0,791	1,259	11,290	—	—	0,626	0,499
	BLANCO T5	0,381	0,891	18,855	0,887	—	—	0,655
	T5	0,51	0,812	16,428	—	0,102	1,528	4,608
L-14	BLANCO T1	0,694	0,618	0,513	0,972	—	—	0,432
	T1	—	—	—	—	—	—	—
	BLANCO T2	0,695	1,555	28,961	0,511	0,052	—	3,781
	T2	0,502	13,712	0,218	0,218	—	—	7,150
	BLANCO T3	0,681	0,318	6,083	0,553	—	—	1,097
	T3	11,290	—	0,719	1,259	—	0,626	0,499
	BLANCO T4	0,541	0,812	0,791	—	0,030	0,243	0,399
	T4	0,213	0,510	18,985	—	0,170	0,487	3,935

LEVADURAS	GLUCOSA	FRUCTOSA	MALTOSA	ÁCIDO ACÉTICO	ÁCIDO SUCCÍNICO	ÁCIDO CÍTRICO	ETANOL	ÁCIDO LÁCTICO
	BLANCO T5	18,855	0,887	0,381	0,891	—	—	0,605
	T5	0,541	0,812	16,429	0,103	1,528	—	4,608
L-18	BLANCO T1	—	—	—	—	—	—	4,608
	T1	0,220	0,605	17,613	—	0,847	—	1,956
	BLANCO T2	—	—	—	—	—	—	—
	T2	0,841	1,633	29,654	0,290	11,345	—	3,511
	BLANCO T3	0,325	0,672	16,123	—	0,318	—	1,097
	T3	0,213	0,510	18,985	0,487	—	0,170	3,935
	BLANCO T4	—	—	11,290	0,719	1,259	—	0,499
	T4	0,541	0,812	0,791	0,243	—	0,133	0,399
	BLANCO T5	0,891	—	18,855	0,887	—	—	0,605
	T5	0,541	0,812	16,429	1,528	0,103	—	4,608
L-20	T1	—	0,220	0,605	17,613	0,847	—	1,956
	T2	0,325	0,672	16,123	—	—	—	3,760
	T3	0,325	0,672	16,123	—	—	—	—
	T4	0,573	0,533	1,295	—	0,032	—	0,446
	T5	—	—	—	—	—	—	4,608
L-36	BLANCO T1	0,791	0,243	0,030	—	—	—	0,399
	T1	0,841	1,633	29,654	11,345	—	—	0,290
	T2	1,504	0,338	1,342	0,557	—	—	—
	T3	8,850	0,500	0,185	0,393	—	—	3,211

LEVADURAS	GLUCOSA	FRUCTOSA	MALTOSA	ÁCIDO ACÉTICO	ÁCIDO SUCCÍNICO	ÁCIDO CÍTRICO	ETANOL	ÁCIDO LÁCTICO
L-44	T4	1,100	0,338	1,039	—	—	—	1,839
	T5	0,511	0,442	0,081	2,101	—	—	1,011
	BLANCO T1	0,395	0,145	0,885	0,536	—	—	1,135
	T1	0,065	0,130	1,848	1,011	—	—	1,130
	BLANCO T2	0,684	1,026	0,885	0,398	—	—	0,255
	T2	0,093	0,243	16,685	0,270	—	—	0,869
	BLANCO T3	1,790	1,032	0,349	0,398	—	—	0,109
	T3	0,022	0,030	1,145	2,336	—	—	0,200
	BLANCO T4	0,113	0,206	5,080	0,756	—	—	0,490
	T4	0,225	0,446	13,011	1,644	—	—	0,564
L-51A	BLANCO T5	0,244	0,421	0,055	5,086	0,992	—	0,404
	T5	0,046	0,009	20,249	2,477	—	—	0,48
	BLANCO T1	0,298	1,098	10,093	—	0,095	—	3,215
	T1	—	—	0,601	—	—	—	—
	BLANCO T2	0,851	1,633	29,654	2,333	—	—	0,210
	T2	0,325	0,672	10,119	2,186	—	—	0,700
	BLANCO T3	0,573	1,026	1,285	0,658	—	—	0,032
	T3	0,805	1,028	6,884	0,657	—	—	0,546
	BLANCO T4	0,761	0,257	0,180	0,391	—	—	—
	T4	0,047	0,158	0,620	0,311	—	—	0,054
BLANCO T5	0,263	0,222	2,561	0,529	—	—	0,255	

Análisis HPLC

Se determinó la cantidad de degradación de cada sustancia. En este caso, se evalúan las concentraciones remanentes de azúcares y ácidos orgánicos. En la mayoría de las pruebas se considera la degradación de la maltosa, debido a que en cada tratamiento se utilizaron, además del contenido proteico, maltodextrinas presentes en las harinas y de la misma forma se encuentran los ácidos como el succínico y acético. Se evaluaron por cepa cinco tratamientos y a cada uno se le evaluó un blanco (sin levadura).

Las fases posteriores del proyecto incluirán el fraccionamiento de los productos de fermentación que han resultado positivos en la inhibición del crecimiento bacteriano y aquellas que resulten positivas contra el crecimiento de hongos, a fin de identificar fracciones positivas que posteriormente serán purificadas para identificar los péptidos correspondientes.

Conclusiones

Los resultados de la actividad antibacteriana por parte de los productos de fermentación de harina de chachafruto y suero de leche, muestran resultados promisorios para la inhibición de *B. cereus*, *P. aeruginosa* y *S. aerus*, agentes patógenos presentes en los alimentos.

La inhibición de hongos aún no se ha podido verificar con las levaduras estudiadas hasta ahora y los sustratos fermentados, pero se continuará haciendo un *screening* hasta lograr algún grado de inhibición.

Bibliografía

- ALBERGARIA, H.; FRANCISCO, D.; GORI, K.; ARNEBORG, N.; GÍRIO, F. (2010). Applied Microbiology and Biotechnology , 86 (3), pp. 965–972.
- CODA, R.; RIZZELLO, C.; NIGRO, F.; DE ANGELIS, M.; ARNAULT, P.; GOBBETTI, M. (2008). Applied and Environmental Microbiology. 74, pp. 7391–7398.
- DALLAGNOL, A.M.; PESCUA, M.; FONT DE VALDEZ, G.; ROLLÁN G. (2013). Applied Microbiology and Biotechnology. November, 97, pp. 3129–3140.
- LARGA T.; PRAKASH S.; SHANNON M.; MOORE J. (2006). Activación de la superficie a base de plasma–agua–vapor para la modificación triclorosilano de PMMA. Langmuir, (22), pp. 4104–4109.

- Ng, T. (2004). “Antifungal proteins and peptides of leguminous and nonleguminous origins”. *Peptides*, 25, pp. 1215–1222.
- PADRAIGÍN A. H, RICHARD J. F. (2012). Functional Foods and Nutraceuticals , 46 (2), pp. 437– 572.
- RASMUSSEN J.; STEDRONSKY E.; WHITESIDES G. (2007). Introducción, modificación y caracterización de los grupos funcionales en la superficie de una película de polietileno de baja densidad. (99), pp. 4736–45.
- RIZZELLO, C. G.; CASSONE, A.; CODA, R.; GOBBETTI, M. (2011). *Food Chemistry*, 127, pp. 952–959.
- RIZZELLO C. G. (2009). *International Journal of Food Microbiology*, 131, pp. 189–196.
- TRIPATHI, P.; DUBEY, N.K. (2004). *Postharvest Biology and Technology*, 32, pp. 235–245.

Valoración de residuos procedentes de la transformación agroindustrial del fique y las frutas

Oswaldo Osorio M*
Andrés Felipe Cerón**

Resumen

Los residuos del procesamiento agroindustrial han conducido a problemas ambientales y económicos. Las estrategias de aprovechamiento se han concentrado en la elaboración de abonos orgánicos, limitando así la generación de mayor valor agregado. Conscientes de lo anterior, varios investigadores han propuesto alternativas de valorización, mediante la identificación de compuestos de interés que puedan ser materia prima para productos con alto valor agregado. Este artículo muestra los potenciales usos de dos tipos de residuos: los procedentes de la transformación del fique (*Furcraea gigantea*) para obtener un bioinsumo natural que permita el control del patógeno tizón tardío de la papa (*Solanum tuberosum*) y los procedentes de la industria de pulpas y jugos, para la obtención de aceites con potencial uso en la industria cosmética. Los resultados mostraron la posibilidad de utilizar estas dos alternativas en la generación de productos con valor agregado y la reducción del impacto ambiental.

Palabras clave: residuos agroindustriales, bioinsumo, composición.

* Ph.D. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

** Ingeniero Agroindustrial, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

Abstract

Agro-processing residues have led to environmental and economic problems. Utilization strategies have focused on the production of organic fertilizers, limiting the generation of added value. Several aware of this, researchers have proposed alternative valuation, identifying compounds of interest that can be the raw material for products with high added value. This paper shows the potential use of two types of waste: the transformation from sisal (*Furcraea Gigantea*) for a natural bioinsumo that allows control of late blight pathogen of potato (*Solanum tuberosum*) and from industry for pulp and juices obtaining oils with potential use in the cosmetic industry. The results showed the possibility of using these two alternatives in the generation of products with higher added value and reduced environmental impact.

Keywords: agroindustrial waste, bioinsumo, composition.

Introducción

Según Yepes *et al.* (2008) en los procesos productivos, además del producto deseado, se generan subproductos, residuos y productos fuera de norma, los cuales pueden tener diferentes aplicaciones y traer beneficios económicos. Saval (2012) mencionó que la prioridad en el manejo de residuos se ha enfocado en dos aspectos: la generación de productos con valor agregado y la reducción del impacto ambiental.

En ese sentido, algunos investigadores como Solarte *et al.* (2012), Álvarez *et al.* (2013) y Latorre *et al.*; (2013) centraron su interés en el jugo de fique, un subproducto del proceso de obtención de fibra natural, el cual no ha tenido un buen manejo y es vertido a ríos y quebradas causando así contaminación y muerte de la ictiofauna que los habita.

Por otra parte, investigadores como Cerón *et al.* (2012a, 2012b y 2014) centraron su interés en los residuos procedentes de la industria de jugos y pulpas, debido a que las estrategias de aprovechamiento para estos solo se han enfocado en la elaboración de abonos orgánicos, actividad que ha limitado la generación de mayor valor en este tipo de residuos.

Dentro de este contexto, se exponen algunas alternativas de aprovechamiento de los residuos procedentes de la transformación del fique y las frutas, como opciones para la generación de mayor valor agregado.

Alternativa de valorización residuos del procesamiento del fique (*Furcraea gigantea*)

Algunos autores citados por Latorre *et al.* (2013) mencionan que los residuos del proceso de extracción de fibra de fique constituyen el 96 % del peso de la hoja, de los cuales el 50 % lo componen los jugos de fique que actualmente no son aprovechados a pesar de tener propiedades tensoactivas y plaguicidas y poseer esteroides naturales como saponinas, fitosteroles, alcaloides, flavonoides, taninos, cumarinas, esteroides y quinonas, entre otros.

Las mencionadas propiedades, sirvieron de base para llevar a cabo investigaciones relacionadas con la estabilización del jugo de fique, para la obtención de un bioinsumo que controlara agentes patógenos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) como alternativa de aprovechamiento de este residuo. Entre esas investigaciones, se destaca *Evaluación de tratamientos térmicos para inactivación de enzimas en jugo de fique* (Latorre *et al.*, 2013), en la cual se concluyó que al reducir la actividad en un 10,6 % para POD y en un 3,2 % para PPO, se conservan las características biocidas del jugo y se evita su degradación.

Por otra parte, Solarte *et al.*; (2012, 2014) acudieron a la pulverización y concentración al vacío del jugo, y concluyeron que las tecnologías de concentración y secado por aspersion permiten la conservación del producto, a lo que se añade que el producto en estado seco presenta una baja humectabilidad que contrasta con su alta solubilidad en agua. En síntesis, el jugo pulverizado conduce a una reducción considerable en el porcentaje de crecimiento del patógeno. Ello ha permitido recomendar el jugo de fique como un posible bioinsumo en el control de *Phytophthora infestans*.

Alternativa de valorización de residuos procedentes de la industria de jugos y pulpas

Dentro de estos residuos se destacan las semillas de frutas, las cuales poseen un alto contenido en fibra. Están constituidas por celulosa, sustancias pécticas y hemicelulosa (Badui, 1999) y cuentan con amplia variedad de componentes que le imprimen múltiples características a cada tipo de semilla (Stroshine y Hamann, 1993, citado por Cerón *et al.*, 2012a). Pueden ser fuente promisoría de aceites destinados a las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética (Amaya *et al.*, 2007), esta última de gran interés, como lo reportan los estudios de Cerón *et al.*, (2012a, 2012b y 2014), en los cuales se afirma que la composición del aceite de diferentes semillas (Tabla 16), es rica en ácidos grasos esenciales. Así mismo, el rendimiento en aceite obtenido en la extracción presenta un elevado

potencial para esta industria; semillas de lulo 8,5 %, mora 12,2 %, maracuyá 21,2 %, guanábana 30,5 % y tomate de árbol 24,82 %.

El ácido graso mayoritario encontrado en estas investigaciones fue el ácido linoleico. Según Cerón *et al.* (2012a, 2012b), es esencial para el ser humano, puesto que su carencia o desbalance en la ingesta produce serias alteraciones metabólicas.

Tabla 16

Comparativo de ácidos grasos contenidos en aceite de diferentes semillas

ÁCIDO GRASO	C.R.* (%)				
	^a MORA (RUBUS GLAUCUS)	^a LULO (SOLANUM QUITOENSE)	^a MARACUYÁ (PASSI- FLORA EDULIS)	^b GUANÁBANA (AN- NONA MURICATA)	^c TOMATE DE ÁRBOL (SOLANUM BETACEUM)
Palmítico ME	11.24	15.60	15.44	29.60	14.34
Palmitoleico ME	—	2.35	—	—	—
Esteárico ME	4.11	3.65	3.00	5.89	5.18
Oleico ME	9.42	14.00	15.47	33.47	13.46
Linoleico ME	50.10	58.10	63.10	27.77	64.20
Linolénico ME	25.10	6.21	1.10	3.28	2.40

*C.R: Cantidad relativa; a y b: valores tomados de Cerón *et al.*; 2012; c: valor tomado de Cerón y Osorio (2014).

Respecto del potencial uso de estos aceites en la industria cosmética, Benaiges (2008), afirma que los ácidos oleico y linoleico son compuestos emolientes que se emplean habitualmente en cosmética y dermofarmacia. El ácido linoleico participa en la síntesis de prostaglandinas y en la generación celular. Según Ziller (1994), este ácido es esencial para el crecimiento y el buen estado de piel y pelo. Lo anterior ha permitido recomendar los aceites evaluados como base de formulación para la industria cosmética (Martini, 2005).

Conclusiones

Los productos del bioinsUMO pulverizado de jugo de fique presentan ventaja en cuanto al manejo, transporte y conservación; por tanto su posible utilización

en campo en un futuro brindaría excelentes ventajas competitivas frente a agroquímicos convencionales.

Los rendimientos y la composición de los aceites obtenidos de las semillas de frutas, muestran su potencial como materia prima oleaginosa para la industria consumidora de aceites vegetales, lo que constituye un valor agregado para estos residuos procedentes de la industria de pulpas y jugos.

Bibliografía

- ÁLVAREZ, D.; HURTADO, A.; SALAZAR, C.; ARANGO, O.; ACOSTA, J. (2013). “Evaluación del bioinsumo de fique (*Furcraea gigantea*) en el control del tizón tardío de la papa”. En: *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 11(2), pp. 29–36.
- AMAYA, L.; DÍAZ, F.; GARCÍA, N.; MONCADA, M. y GUERRERO, G. (2007). Obtención del aceite de las semillas de *Luffa cylindrica* y evaluación de su potencial uso en la industria cosmética. En: *Scientia et Technica*, 33, pp. 287–289.
- MARTINI, M. (2005). *Introducción a la dermofarmacia y a la cosmetología*. España: Acribia S.A.
- BADUI, S. (1999). *Química de los alimentos*. 3° ed. México: Adisson Wesley Logman S.A.
- BENAIGES, A. (2008). Aceite de rosa mosqueta: composición y aplicaciones dermocosméticas. *Offarm*, 27 (6), pp. 94–97.
- CERÓN, A. y OSORIO, O. (2014). “Ácidos grasos contenidos en el aceite extraído de semillas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*)”. *Revista facultad nacional de agronomía*, 67 (Supl. 2), pp. 570–571.
- CERÓN, A.; OSORIO, O. y HURTADO, A. (2012a). “Identificación de ácidos grasos contenidos en los aceites extraídos a partir de tres diferentes semillas de frutas”. En: *Acta Agronómica*, 61 (2) ,pp. 126–132.
- CERÓN, A.; OSORIO, O. y HURTADO, A. (2012b). “Identificación de ácidos grasos presentes en el aceite extraído a partir de semillas de guanábana (*Annona muricata*)”. En: *Revista de ciencias agrícolas*, 29 (1), pp. 81–87.
- LATORRE, L.; PANTOJA, A.; MEJÍA, D.; OSORIO, O.; HURTADO, A. (2013). “Evaluación de tratamientos térmicos para inactivación de enzimas

- en jugo de fique (*Furcraea gigantea* Vent.)”. En: *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 11 (1), pp. 113–122.
- SAVAL, S. (2012). “Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: pasado, presente y futuro”. En: *Biotecnología*, 16 (2), pp. 14–46.
 - SOLARTE, R.; OSORIO, O.; HURTADO, A.; MEJÍA, D. (2012). “Evaluación del bioinsumo de fique pulverizado (*Furcraea* spp) para el control *in vitro* de *Phytophthora infestans* en papa (*Solanum tuberosum* L)”. En: *Información Tecnológica*, 23(3), pp. 77–86.
 - SOLARTE, R.; OSORIO, O. (2014). “Evaluación de la concentración del jugo de fique (*Furcraea* spp) para el control *in vitro* de *Phytophthora infestans* en plantas de papa (*Solanum tuberosum* L)”. En: *Información Tecnológica*, 25 (5).
 - YEPES, S.; MONTOYA, L.; OROZCO, F. (2008). “Valorización de residuos agroindustriales de frutas en Medellín y el sur del Valle de Aburrá”. En: *Revista Facultad Nacional Agronomía Medellín*, 61(1), pp. 4422–4443.
 - ZILLER, S. (1994). *Grasas y aceites alimentarios*. 7ª ed. Madrid: Acribia, S.A.

Use of limestone in stabilization of liquid wastes with low buffering power in the anaerobic digestion. A practical and sheep option

Marney Pascoli*

Abstract

The wastewater from cassava starch extraction and the sugarcane vinasse are both produced in large volumes. As others liquid residues high sugars and low protein concentration gives a low buffering power. The pH fluctuation makes unstable the anaerobic system and affects its performance by reducing its efficiency. Phase's separation or neutralizing agents that reduce the excess of acids formed in the acidogenic phase control the instability. For use power or liquid neutralizers it is necessary a machine or manpower distribution. The limestone was evaluated in acidogenic phase in vinasse and cassava wastewater because if the acidity increases, an appropriate amount is automatically removed from the stone surface. With the best proportion (1,8 ton limestone/m³) and a HRT of 96 hours, the free calcium (100 to 150 mg Ca⁺²/l) remained at an appropriate level. For cassava wastewater with a 16 g/l COD the reactor was stable (pH 6,52 to 6,87) with an 88 % of remove and 332,45 mg Ca⁺²/l. For both wastewaters the calcium concentration did not considered as toxic to the anaerobic process. The limestone surface corrosion for both wastewaters was near 3 % of the stones weight and may suppose a less frequent replacement in

* Technology and Agribusiness Analysis Center, Catholic University, Campo Grande, MS, Brazil.

real applications and the cost of commercial limestone was established as U.S. \$ 69/waste m³.

Keywords: environment, biotechnology, costs, fixed bed, free calcium.

Introduction

The limitations of energy sources in the world are being mitigated by the exploitation of renewable forms and by increases in the efficiency of energy utilization (Carolino y Ferreira, 2013). In Brazil, the choice of renewable fuels based on agricultural derivatives is explained by the strength of agribusiness, due to the climate and still available areas for energy production, without competing with food production. The sugar cane mill produces ethanol as renewable fuel but several residues are also generated. The cassava processing for starch is also an important industry for Brazilian agribusiness mainly in the south of the country. Solids and liquid residues are generated.

The anaerobic digestion is appropriated for liquid wastes treatment as occurs for sewage.

The presentation focuses on the treatment of two kinds of liquid wastes for which the anaerobic digestion residue treatment, although it is used to reduce organic load can also generate energy for use in these industries. The main problem is the control of the instability caused by the low power buffering system of residues. One solution for the anaerobic system to maintain its efficiency is the separation of phases (acidogenic and methanogenic) in different reactors, but its cost is high.

The results obtained with a low cost solution adjusted to the rural environment, are presented as useful for both the agribusinesses liquid residues.

Wastewater from cassava starch extraction

Cassava is a specific raw material from tropical countries. Despite the use as food in Africa and South America, its use for industrial starch extraction is a strong agribusiness and an important product for exportation in Asia.

The south of Brazil concentrated more than 90 % of the total production of cassava starch. The processing of about 2.04 million tons of cassava root in 2012 yielded in Brazil 519,670 tons of starch. Paraná is the largest Brazilian state producer of cassava starch, followed by Mato Grosso do Sul (Cepea, 2013).

The volume generated of wastewater from cassava starch extraction is an average 2.6 m³ for washing the roots and 3.6 m³ of starch extraction both calculated per ton of cassava roots. From the total 20 % of this water is re-used (Cereda, 2001). Its composition is summarized in Table 17.

Table 17
Physico-chemical characteristics of cassava wastewater from starch extraction according to the literature

PARAMETRS	CEREDA (2001)	SUN ET AL.; (2012)
COD (mg l ⁻¹)	6,365.50	10,496.00
C/N	40.6	19.0
pH	4.10	4.50–4.92
Total solids (mg l ⁻¹)	8,470.00	–*–
Nitrogen (mg l ⁻¹)	144.20	524.50
Phosphorus (mg l ⁻¹)	660.84	94.00
Potassium (mg l ⁻¹)	1,863.50	–*–
Calcium (mg l ⁻¹)	227.50	–*–
Magnesium (mg l ⁻¹)	405.00	–*–
Cyanide as CN ^{-P}	460.0	–*–

Non-available data: –*–

The high C/N ratio and low in nitrogen content characterize the liquid waste as low buffering power. For cassava wastewater from starch extraction another difference is the presence of cyanide (linamarina). As a respiratory chain inhibitor the cyanide only may harm microorganisms in the acidogenic phase of anaerobic digestion (Cereda, Flors, Vallés, Alberola, (1986) and (1990).

Vinasse from sugar cane production

The vinasse is a liquid waste generates in the distillation of fermented sugar from cane juice and malice in the ethanol production. In the Brazilian distilleries vinasse is used as liquid fertilizer on sugarcane crop (Laime, Fernandes, Oliveira y Freire, (2011); Silva, Griebeler y Borges, (2007). Ten to eighteen liters of vinasse are produced for each liter of distilled ethanol (Silva, Griebeler y Borges, 2007); Simabuco y Nascimento Filho, 1994). The total sugarcane harvest in Brazil in 2012/2013 was around 596.63 million tons, of which 87.5 % is concentrated in the Centre–South region of Brazil. About 50 % of this sugar is used for the production of around 23.49 billion liters of ethanol (CONAB, 2012). As reported by CHEN, (1993) the impact the disposal of a liter of raw

vinasse direct on soil would be equivalent to untreated domestic sewage of 172 people in one day.

The Brazilian Union of Bioenergy Producers (Unica, 2007) remembered that by the adoption of the vinasse as chemical fertilizers it is possible to reduce the cost of agricultural production of the sugar cane around U.S. \$ 60 per hectare. As reported by Bjarnason, (1988) the fertilization with sugarcane vinasse has been extensive research in Brazil and the results showed that, contrary as believed, vinasse fertilization made soils more alkaline, due to the consumption of organic acids present in vinasse by bacteria presented in soil. Among the nutrients present in the vinasse the nitrogen is the most quickly metabolized. The mineralization and immobilization are both intimately connected and dependent from metabolism performed by heterotrophic organisms that use organic compounds as energy source. The NH_4^+ and NO_3^- released by mineralization are quickly assimilated into microbial biomass.

Even if the total of the vinasse generated in Brazilian distilleries are used in fertilization of sugarcane crop without causing environmental pollution, the volume generated is important enough to favour new solutions as the valorisation by biotechnology.

The vinasse shows low protein content, and may exhibit high acidity instability. By anaerobic digestion to bio transformed the organic matter into energy and stabilize the residue while the pH is increasing by removing the organic matter maintaining the mineral composition for the use as fertilizer (Ribas, Cereda y Villas Boas, 2010).

Elia Neto y Nakahondo (1995) were reported the characterization of vinasse from 28 Brazilians sugar cane mills and distilleries from Sao Paulo State, with the minimum, average and maximum composition. In this report it is clear the high variation of vinasse chemical composition, due to several factors such as the composition of the sugar cane, the influence of the environment, the fermentation process chosen and the distillation and operating equipment. The 64 samples of vinasse presented the follow composition as average: Biochemical Oxygen Demand (BOD) of a 16,949.76mg/l, Chemical Oxygen Demand (COD) of 28,450.00 mg/l with a predominance of sugars. Near 70 % of the Total Suspended Solids (TSS) (3,966.84mg/l) was soluble matter. The vinasse samples presented also 356.63 mg/l of nitrogen (but only 10.94 mg/l of protein nitrogen), 515.25 mg/l of calcium as CaO, 60.41 mg/l of phosphorus as P_2O_4 , 225.45 mg/l of magnesium as MgO and 2034.89 mg/l of the potassium as K_2O . The acidity expressed as pH ranged from 3.5 to 4.9 with 4.15 as average.

Brazilian legislation on treatment and use of liquid waste

The Brazilian legislation consider that the pH range allowed for the discharge of effluents into water bodies is 5–9, and minimal removal is 60 % for Biochemical Oxygen Demand (BOD 5 days at 20 ° C) and 80 % to Chemical Oxygen Demand (COD) (Brasil, 2011).

Systems suitable to the liquid waste treatment with high organic load and low buffering power

The types of treatment available for agro industrial liquid wastes with high organic loading and low buffering power are the same proposed and available in the specific literature for other types of liquid waste in large volumes.

Treatment of wastewater from agro–industries is carried out in anaerobic reactors, with the advantages of low production of solid, low power consumption, low cost of deployment and operation, tolerance to high organic loads and the possibility of operation with high retention times of solids (Aquino y Chernicharo, 2005). The differential for these types of residues is the instability caused by the rapid generation of acidity (less than 24 hours), incompatible with the velocity of the removing these acids in the methanogenic phase that has longer duration.

The best indicator for this instability is the relation volatile acidity/total alkalinity (VA/TA). Pérez y Torres (2008) founded that the relation volatile acidity/total alkalinity (VA/TA) of stabilized reactors varying from 0.40 to 0.55.

Besides promoting the recycling of nutrients, providing a sustainable cycle (SINGH y Prerna, 2009), anaerobic digestion results in the gas production that can be used as an energy source by the same industry (Chavalparit y Ongwandee, 2009) and can be used also as liquid fertilizer (Ribas, Cereda y Villas Bôas, 2010).

Anaerobic digestion instability and its control with neutralizing agents

Among the factors that may influence the efficiency of the liquid waste treatment the main is the pH stability. The methanogenic bacteria have optimal growth between 6,6 and 7,6 pH units as reported by Rittman, y McCarty, (2001).

Chernicharo (1997) remember that although it is possible to arrive on methane formation in a wider range of pH (6,0 to 8,0), values lower than 6,0 and greater than 8,3 should be avoided to prevent the methanogenic bacteria inhibition with decrease of the treatment efficiency and gas production.

The physical separation of the anaerobic digestion phases (acidogenic and methanogenic) is one way to control the instability, but it is an expensive alternative. Once all the acid generated is neutralized it is possible to say that the system is stabilized and when subjected to anaerobic digestion the acidification did not occur any more. So another way to attenuate the instability is the use of alkalizing agents.

Several commercial products can be used to provide alkalinity. The commercial systems used for neutralization in anaerobic digestion are mainly a liquid neutralizing agent distributor. The solids as powder are difficult to distribute and present a low solubility.

Torres, Pérez, Canjigas, Otero y González, (2008) reported a very complete research on this theme. Sodium hydroxide is soluble and effectively neutralizes the strong acids what makes it a more satisfactory solution for neutralization. However, when sodium hydroxide reacting with CO_2 in the reactor may produces wastes with low buffer effect. The commercial products, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaHCO_3 and NaOH , were compared and the best performance was founded for sodium bicarbonate, followed by sodium hydroxide. To establish the effect of the alkalizing agents the authors measured the initial pH of a 50 ml sample of the wastewater and then adjusted it to 5.75 pH units. Every 20 minutes for about 2.5 hours the volumes of alkali additions to adjust the pH to the established value were recorded.

The limestone is still poorly studied among the alkalizing agents. The generation of vinasse in the brazilian distilleries occurs in rural areas where limestone is widely used for soil correction. Cavagna, Clari y Martire (1999) reported that the limestone consist of strongly carbonate–cemented siliciclastic sediments ranging in grain size from mud to coarse sand. The composition of this sedimentary rock is 50 to 90 % of calcite and 50 to 10 % dolomite mineral whose composition is mainly calcium carbonate and magnesium.

The limestone belongs to the group of alkalizing agents that may form bicarbonate alkalinity directly. It is true that when carbonates are used as alkalizing agent's they increases the risk of insoluble particles formation, but these particles can promote the granulation in the reactor which reduces the impact of

fluctuations of acidity on the methanogenic bacteria (Torres, Pérez, Canjigas, Otero y González, 2008).

The advantages of the limestone were reported by Ribas y Cereda (2003). It was founded that is possible to favours the stabilization of cassava wastewater in the acidogenic phase reactor filled it with dolomitic limestone, that's act also as fixed bed. The authors remembered that is an efficient, inexpensive and easy to purchase material.

The stabilization of vinasse in acidogenic phase with limestone may be suitable for use in rural areas because limestone is widely used in agriculture as neutralizing agent. However, it is known that excess calcium in the reactor may cause serious problems so it is necessary to establish the concentration of free calcium in reactor to prevent accidents.

Results of liquid residues with low buffering power neutralization by limestone

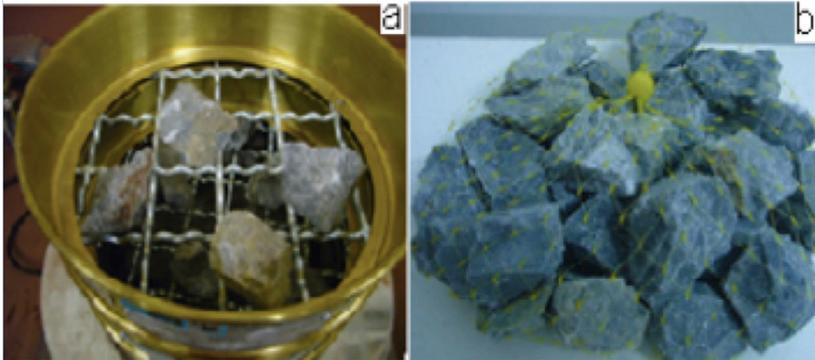
Limestone was purchase from a local industry at U.S. \$ 19/ton and selected to present a specific the particle (Figure 10) size <50 mm to > 20 mm (Ribas y Cereda, 2004). This particle size was select for laboratory assays and should be adjusted for scale up in the volume of liquid waste treated. In the real industrial scale (cassava industries and distilleries) the limestone's may be bigger in size.

Samples are collected and analysed for the relation Volatile acids/Total alkalinity. At the same time the limestone effect was evaluate by a method adapted from the reported by Torres, Pérez, Canjigas, Otero y González, (2008). Samples of 50 ml were adjusted to pH 7.5 and incubated at 30°C for 48 hours, after which the pH was adjusted again and the volume of NaOH N was recorded. The criteria used for established the end of stabilization was that the pH value do not varied more than 0.1 measured after 72 hours as described by Ribas y Cereda (2003).

Cassava wastewater

The cassava wastewater was studded in the anaerobic system (acidogenic and methanogenic phases). Ribas y Cereda (2003) reported that when cassava wastewater was stabilized in the acidogenic phase reactor filled it with dolomitic limestone with four days (96hrs) as hydraulic retention time (HRT) the pH remain stable near 6,0 with a The VA/TA relation of 1,25.

Figure 10
Patronization of limestone size (1a) and package of stones prepared corrosion evaluation



Source: Palma, Gomes, Cereda y Fernandes, (2012)

Palma, Gomes, Cereda y Fernandes, (2012) reported a test made with wastewater was obtained from an industry of cassava starch extraction, collected on the entry of the effluent treatment system from the industry, with pH of 5,37, VA/TA 1.68, 6.94 Ca+ mg/l, 151,48 mg Mg+/l, 14,79 g COD/l and alkalinity between 195,33 and 367,83 mg CaCO₃/l.

The tests used horizontal reactors filled with limestone (Fig.1) with Hydraulic Residence Time (HRT) of 20 hours. The results showed that for COD of 16 g l⁻¹ reactor was stable at pH 6,52 to 6,87 and VA/TA ratio also 0,49. The values can be considered as low but the reactors had operated 140 days with stability. The buffering effect was a result of the alkalinity generated in the system by the release of Ca²⁺ and Mg²⁺ by dissolving the calcareous stones in an average of 2,51 % of the initial weight. The calcium remained in solution (332,45 mg/l) in the treated wastewater, but part of the dissolved Mg²⁺ (4281,50 mg/l) was retained in the reactor sludge. For both ions the concentration in the effluent and sludge did not reach values considered toxic to the anaerobic process. The founded value was lower than the average values (2,220 Ca²⁺ mg/l) reported by Ribas y Cereda (2003) and Ribas, Cereda y Vilas Boas (2010) in the same effluent by operating a reactor in acidogenic phase with limestone.

Vinasse

The test for vinasse stabilization was made by Oliveira–Junior, Almeida y Cereda (2012) with dolomitic limestone (Figure 11) as at the same time a neutralizing

agent and a fixed bed in the acidogenic phase. The HRT was 96 hours as reported by Ribas y Cereda (2003).

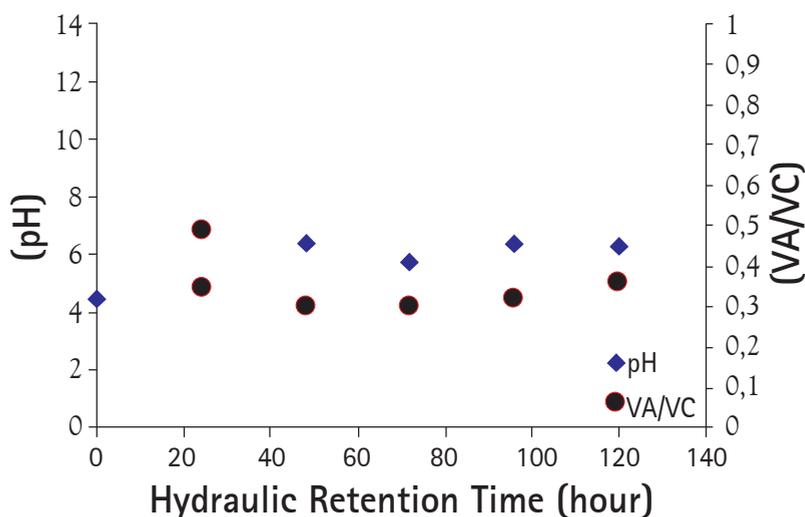
The authors (Oliveira–Junior, Almeida y Cereda, 2012) founded that the best ratio was 1.88ton of limestone/m³ vinasse that provided a pH stable (7.5 to 8.0) over all the time, with a VA/TA ratio between 0,6 and 0,7 that is considered as satisfactory.

The initial COD value of 106 mg O₂.l⁻¹ was quite that same measured at the higher HRT (120 hours). This is expected for the acidogenic phase of anaerobic digestion and agreed with the literature (Borja *et al*, 2005) and with the tiny gas production. By this simplification (Leslie, Daigger y Lim, 1996) it is not expect with a reduction in the COD value but a lowering in the pH with increasing acidity. Figure 11 representing the stabilization of the vinasse by limestone.

All results may be considered as satisfactory by compare with Beux, Nunes y Barana (2007) who point out that for waste with low buffer capacity, the VA/TA should range from 0,06 to 0.2 or from 0,7 to 1,3, with a pH of between 7,6 and 8,2.

Figure 11

Variation of pH and VA/TA with HRT (hours) in reactors feed with vinasse and used limestone as fixed bed and neutralizing agent (Average 3 replications).



After achieving at satisfactory vinasse stabilization by using limestone, it was necessary to know the variation of the calcium content as a function of the HRT variation. Figure 12 shows the results expressed as calcium mg/l.

Figure 12

Variation of calcium content ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$), Total fixed solids (TFS) and total volatile solids (TVS) as function of HRT (hours) in reactors feed with vinasse and limestone as fixed bed and neutralizing agent

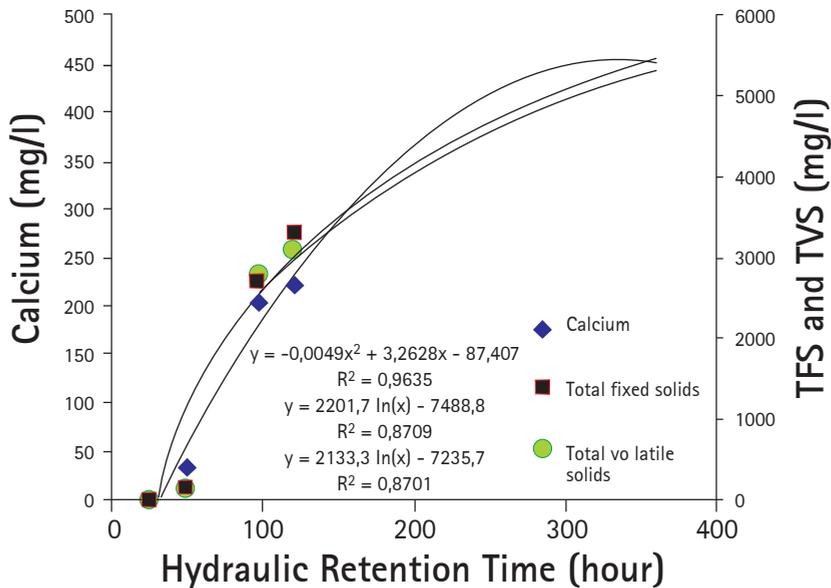


Figure 12 shows that the variation for free calcium content in the stabilized vinasse ranged from 0 to more than 200 $\text{mg}\cdot\text{Ca}^{+2}/\text{l}$. The initial null value may be explained by the amount of free calcium in the vinasse that was very low ($0.015\text{ mg}\cdot\text{Ca}^{+2}/\text{l}$). This value was 5 times smaller than the minimum value reported by Elia Neto y Nakahondo (1995). In the HRT considered as suitable for vinasse stabilization with limestone, the free calcium content was probably between 100 and 150 $\text{mg}/\text{l}\cdot\text{Ca}^{+2}$ calculated by adjusting the curve to evaluate the effect of a much larger HTR.

Both the calcium concentration and volatile solids showed a tendency to stabilize when the HRT was projecting as increase for 400 hours, by the logarithmic curve adjusted in Figure 3. These results allow establishing that even with very long HRT the calcium content in the reactor will remains at a steady level, which allows methanogenic bacteria to establish an appropriate particle size.

The fast increase in of free calcium concentration is due to the high calcium content in dolomitic limestone (30 %).

Hole of calcium in the efficiency of anaerobic digestion of liquids waste

As reported by Dolfig *et al.*; (1985) the mineral in the anaerobic digestion system may precipitates such as CaCO_3 , $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$, and FeS as metabolic a result of the activities and physico–chemical reactions, and are accumulated either inside or on the surface of granules.

Free calcium is essential to the structural integrity of biofilm so that the interactions between the adjacent sugars on different chains are promoted. Calcium ion may also contribute to the stability of the conformation of the polymer network in the granules because of its interactions with the secondary function groups in polysaccharides like OH^- , and consequently, its influence on the folding of the polymers (Turakhia y Characklis, 1988). Calcium also probably plays a role in multiplication of the cells and development of the granules. Yu, Tay y Fang, (2001) remember that was also verified that the presence of calcium in the calcium–added reactors had promoted granule formation by allowing aggregates to form earlier and to reach a larger final size.

Literature emphasizes the role of calcium in anaerobic digestion in promote the stability but also reports a negative interference.

The majority of the information is on the effect of calcium over the granulation of sludge. The addition of low–concentration calcium to the UASB reactors appeared to enhance the three steps of sludge granulation: adsorption, adhesion and multiplication, but it did not lead to a different proliferation of predominant microorganisms in the granules (Yu, Tay y Fang (2001). Divalent ions were also reported by Mahoney *et al.* (1987) and Kosaric and Blaszczyk (1990) to play an important role in microbial aggregation. It has been shown that some divalent metal ions, such as Ca^{2+} and Fe^{2+} , enhance the granulation (Mahoney *et al.* (1987), Kosaric and Blaszczyk (1990), Schmidt and Ahring (1993).

The range of free calcium concentration founded in vinasse stabilized with limestone is within the values of 100 mg Ca⁺²/l reported in the literature as favourable to the granulation of sludge, as demonstrated by De Zeeuw (1984). For Cail and Barford, (1985) the calcium concentration may be higher as 150 mg/l. As microorganisms aggregate there is an enhanced opportunity for cross feeding, co-metabolism and inter-species hydrogen and proton transfer that may further stimulate growth of micro-colonies. At concentrations of 100–200 mg/l, calcium was found to exert a positive impact on granulation (Yu, Tay y Fang (2001), but Mahoney *et al.* (1987) and Yu, Tay y Fang (2001) increased this limit from 150 to 300 mg/l during reactor start-up, when the granulation process is more important. Granulation may be initiated by bacterial adsorption and adhesion to inert matters, to inorganic precipitates (Harvey, Forsberg, Beveridge, Pos y Ogilvie, (1984).

Calcium may act not only to facilitate cell-cell bridging but also to promote growth of aggregates indirectly (Harvey, Forsberg, Beveridge, Pos y Ogilvie, (1984). Versprille (1978) observed a distinct improvement in the biomass settleability and specific activity after replacing NaHCO₃ as a neutralizing agent by Ca(OH)₂ in the treatment of potato processing wastewaters. Hulshoff Pol (1989) also obtained similar results with the treatment of distillery waste.

The concentration of free calcium that may harm the reactor is reported as higher than 200 mg/l. Kugelmann and McCarty (1965) and Yu, Tay y Fang, (2001) [25] found that the optimum calcium concentration for methanation of acetic acid was 200 mg/l and that the upper limit was from 2000 to 5000 mg/l. The same authors founded that the calcium concentrations in the granules ranged from 1250 to 6700 mg/l, considerably higher than that found in this research. For example, when influent calcium concentration was 600 mg/l, the calcium concentration in the granules reached 5350 mg/l and the toxicity of calcium accumulated in the granules might also have a negative effect on the biomass activity. The above results and discussion indicate that an optimum calcium concentration exists (Yu, Tay y Fang, 2001) and depends on many factors, especially the degree of acidity generated during the stabilization phase. Over the optimal limit calcium has a negative effect on the activity of the biomass. Higher influent calcium concentration led to higher ash content in granules and severer mass transfer limitations.

The resistance to substrate diffusion inside granules increases proportionally with physical granular size and ash content, making the substrate less available to the granule core and eventually resulting in substrate deficiency or depletion inside granules (Alphenaar, Pérez y Lettinga, (1993). Mass transfer inside

the granules is considered to be solely controlled by diffusion (Pavlostathis y Giraldo–Gómez, (1991).

Comparative advantages with the use of limestone

The results comprove that the concentration of total fixed solids (TFS) and total volatile solids (TVS) presenting a similar profile of the increase in calcium concentration in the treated vinasse (Fig. 3), but at a ten times larger scale. The calcium concentration increase can be explained by the gradual solubilisation of the dolomitic limestone due to the neutralization of the organic acids formed, releasing Ca^{+2} ion. The limestone solubilisation it's small and may be calculated at least as 3 % of the initial limestone weight.

The data obtained in the experiments also confirmed the previous research that selected the ratio of 1,8 ton limestone/ m^3 vinasse as allows stabilize the vinasse at appropriate pH levels and VA/TA ratio, but the size of the limestone particles will need to be adjusted in a scale up for adapted to the reactor size and effluent volume to prevented preferential channels formation.

It isn't recommended the reduction of the 4 days HTR (96 hours), otherwise to bring instability to the anaerobic system. For cassava wastewater the HTR of 20 hours provides low pH and VA/TA relation. Under these selected conditions, the range of free calcium remained at appropriate levels in the treated vinasse (100 and 150 mg /l Ca^{+2}) that favours the granules formation of the anaerobic system without harming the process. The solubilisation of limestone surface encourage the application of this process. Only 3 % of the limestone weight was enough to guarantee the wastewater stabilization. It is also very important to consider if the limestone is used as alkalizing the distributor cannot be used, because the solubilisation makes de neutralising agent easy to be distributed.

With these characteristics it is possible to confirm the cost of the limestone used as U.S.\$ 69 / m^3 , much lower than the costs reported by Torres *et al.*; (2008) for hydrated lime $\text{Ca}(\text{OH})_2$ as U.S.\$ 320/ m^3 , NaOH was \$ 480/ m^3 and then the sodium bicarbonate U.S. \$ 860/ m^3 .

Main conclusions

The biogas and removals of solids and organic matter were not the aims of this presentation due to the fact well comproved in the literature that the VA/TA ratio and the stabilization of pH is considered the main factor to arrives the

best operation of a anaerobic system for liquid wastes. The biogas may be a very important co product as fuel in the same industry.

The mineral composition of the treated effluent with nitrogen, phosphorus and potassium was enriched with calcium and magnesium from the limestone and may more useful as bio fertilizer, depending on the nutritional needs of crops and soil.

The ratio of 1,8 ton limestone/m³ vinasse was found to allows appropriated stabilization of the vinasse at appropriate pH levels and VA/TA ratio. However the results shown that it isn't recommended the reduction of the 4 days HTR (96 hours), otherwise to bring instability to the anaerobic system. Under these conditions, the range of free calcium remained at appropriate levels in the treated vinasse (100 and 150 mg / l Ca⁺²) that favours the granules formation of the anaerobic system without harming the process. With these characteristics it is possible to confirm the cost of the limestone used as \$ 69 /m³, much lower than the costs reported in the literature.

References

- ALPHENAAR, P.A.; PÉREZ, M.C.; LETTINGA, G. (1993). The influence o substrate transport limitation on porosity and methanogenic activity of anaerobic sludge granules. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 39, pp.276–280.
- AQUINO, S.F.; CHERNICHARO, C.A.L. (2005) .Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.10, n.2, pp.152–163.
- BEUX, S.; NUNES, E.; BARANA, A.C. (1988). Effect of temperature on two–phase anaerobic reactors treating slaughterhouse wastewater. *Braz. Arch. Biol. Technol* 50, pp.1061–1072.
- BJARNASON, S. (2007). Calculation of gross nitrogen immobilization and mineralization in soil. *European Journal of Soil Science*, Oxford, 39, 393–406
- BORJA, R.; MARTÍN, A.; SÁNCHEZ, E.; RINCÓN, B.; RAPOSO, F. (2005). Kinetic modelling of the hydrolysis, acidogenic and methanogenic steps in the anaerobic digestion of two–phase olive pomace (TPOP). *Process Biochemistry* 40, pp.1841–1847.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011.

- CAIL, R.G.; BARFORD, J.P. (1985). The development of granulation in an upflow digester and an upflow anaerobic sludge blanket digester treating cane juice stillage. *Biotechnol. Lett.* 7 493–498.
- CAROLINO C.G.; FERREIRA J.P.M. (2013). First and second law analyses to an energetic valorization process of biogas. *Renewable Energy* 59, pp.58–64.
- CAVAGNA, S.; CLARI, P.; MARTIRE, L. (1999). The role of bacteria in the formation of cold seep carbonates: geological evidence from Monferrato (Tertiary, NW Italy). *Sedimentary Geology*, 126, pp.253–270.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). (2013). Produção de fécula fica estagnada e margem diminui em 2012. Escola Superior De Agricultura Luiz De Queiroz, Universidade de São Paulo.
- CEREDA, M.P. (2001). Caracterização dos subprodutos da industrialização da mandioca. In: CEREDA, M.P. *Culturas amiláceas Latino Americanas*. São Paulo, Fundação Cargill, v.4 cap.1 pp. 1–13.
- CEREDA, M.P.; FLORS, A.; VALLÉS, S.; ALBEROLA, J. (1986). Tratamento anaeróbio em duas fases de suspensões amiláceas. I. Fase acidogénica. *Rev. Agroquím. Tec. Alim., Valência*, 26, pp.101–108.
- CEREDA, M.P.; FLORS, A.B.; VALLES, S.A.; ALBEROLA, J. (1990). Tratamento anaeróbio em duas fases de suspensões amiláceas. II. Fase metanogénica. Influência da adição de cianeto. *Rev. bras. Microbiol.* São Paulo, 21, pp.73–78.
- CHEN, J.C.P. (1993). Byproducts of sugar cane processing. In: Chen, J.C.P.; Chou, C.C. (Ed.). *Cane sugar handbook: a manual for cane sugar manufacturers and their chemists*. 12 ed. New York, John Wiley y Sons., pp.375–432.
- CHERNICHARO, C.A. (1997). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil. 5, pp.199–245.
- COMPANHIA Nacional de Abastecimento. (2012). Acompanhamento da safra Brasileira: Informações sobre a safra da cana-de-açúcar 2012/2013. Primeiro Levantamento, abril/2012. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento.

- DE ZEEUW, W.J. (1984). Acclimatization of anaerobic sludge for UASB reactor start-up. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
- DOLFING J.; GRIFFIOEN VAN, A.R.W.; ZEVENHUIZEN, L.P.T.M. Chemical and bacteriological composition of granular methanogenic sludge. *Can. J. Microbiol.* 31, pp. 744–750. (1985)
- ELIA Neto, A.; NAKAHODO, T. (1995). Caracterização físico-química da vinhaça. Piracicaba: Relatório Técnico da Seção de Tecnologia de Tratamento de Águas do Centro de Tecnologia Coopersucar.
- HARVEY, M.; FORSBERG, C.W.; BEVERIDGE, T.P.; POS, J.; OGILVIE, J.R. (1984). Methanogenic activity and structural characteristics of the microbial biofilm on a needle-punched polyester support. *Appl. Environ. Microbiol.* 48, pp. 633–638.
- HULSHOFF POL; L.W. (1989). The phenomenon of granulation of anaerobic sludge. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
- KOSARIC, N.; BLASZCZYK, R. (1990). Microbial aggregates in anaerobic wastewater treatment. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol* 42, pp.27–62.
- KUGELMAN, I.J.; MCCARTY, P.L. (1965). Cation toxicity and simulation in anaerobic waste treatment. *J. Water Pollution Cont. Fed.* 37, pp. 97–166.
- LAIME, E.M.O.; FERNANDES, P.D.; OLIVEIRA, D.C.S.; FREIRE, E.A. (2011). Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas* 5, pp. 16–28.
- LESLIE, C.P.; DAIGGER, G.T.Y.; LIM, H.C. (1996). *Biological wastewater treatment.* (2ª Ed.) U.S.A, New York.
- LETTINGA, G.; MAN A.D.; VER DER LAST, A.R.M.; WIEGANT, W.; VAN KNIPPENBERG, K.; FRIJNS, J.; VAN BUUREN, J.C.L. (1993). Anaerobic treatment of domestic sewage and wastewater. *Water Sci. Technol.* 27, pp. 67–73.
- MAHONEY E. M.; VARANGU, L. K.; CAIRNS, W.L.; KOSARIC, N.; MURRAY, R.G.E. (1987). The effect of calcium on microbial aggregation during UASB reactor start-up. *Water Sci. Technol.* 19, pp. 249–260.

- OLIVEIRA–JUNIOR, V.; ALMEIDA, F.F.D.; CEREDA, M.P. (2012). Use of dolomite limestone for acidogenic phase stabilization on the anaerobic digestion of cane juice vinasse. In: International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorization, Porto, Campus Jarlard, 4, pp.152–153.
- PALMA,D.; GOMES,S.D.; CEREDA,M.P.; FERNANDES, J.P.; LIMA, A.N. (2012.) Starch wastewater treatment in anaerobic reactor containing limestone. In: International Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorization, Porto, Campus Jarlard, 4, pp. 699–670.
- PAVLOSTATHIS S.G.; GIRALDO–GÓMEZ, E. (1991). Kinetics of anaerobic treatment: a critical review. *Crit. Rev. Environ.Cont.* 21, pp. 411–499.
- PÉREZ, A.; TORRES, P. (2008). “Índices de alcalinidad para el control del tratamiento anaerobio de aguas residuales fácilmente acidificables”. En *Ingeniería y competitividad*, 10, pp.41–52.
- PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MONTERANI, F. (2009). Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbico de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. *Revista Ambi-Água*, Taubaté 4, pp.157–168.
- RIBAS, M. M. F.; CEREDA, M. P. (2004). Comparação da estabilização da manipueira com calcário e hidróxido de sódio na fase acidogênica da biodigestão anaeróbica. *Energia na Agricultura*, 19, pp.33–46.
- RIBAS, M.M.F; CEREDA, M.P. (2003). Stabilization of cassava wastewater during acidogenic phase in anaerobic reactor with sodium hydroxide and two sizes of dolomitic limestone. *Journal of Root Crops*, Thiruvananthapuram 29, pp. 1–6.
- RIBAS, M. M. F.; CEREDA, M. P.; VILLAS BÔAS, R.L. (2010). Use of cassava wastewater treated anaerobically with alkaline agents as fertilizer for maize (*Zea mays* L.) *Brazilian Archives of Biology and Technology* 53, pp. 55–62.
- RITTMAN, B.; MCCARTY, P. (2001). *Environmental biotechnology: principles and applications*. Boston: McGraw–Hill.
- SCHMIDT, J.E.; AHRING B.K. (1993). Effects of magnesium on thermophilic acetate–degrading granules in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors. *Enzy. Microbiol. Technol.* 15, pp. 304–310.

- SILVA, M.A.S.; GRIEBELER, N.P.; BORGES, L.C. (2007). Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande 11, pp. 108–114.
- SIMABUCO, S.M.; NASCIMENTO FILHO, V.F. (1994). Study on vinasse dynamics in soil using energy dispersive X-ray fluorescence with radioisotopic excitation. *Sci. agric.* 51, pp. 207–215.
- SINGH, S. P.; PRERNA, P. (2009). Review of recent advances in anaerobic packed-bed biogas reactors *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, pp. 1569–157.
- SUN, L.; WAN, S.; YU, Z.; WANG, Y; WANG, S. (2012). Anaerobic biological treatment of high strength cassava starch wastewater in a new type up-flow multistage anaerobic reactor. *Bioresource Technology*, v. 104, pp. 280–288.
- TORRES, P.T.L.; PÉREZ. A.; CANJIGAS. A. A.; OTERO. A. M.; GONZÁLEZ. M. (2008). “Selección de acondicionadores químicos para el tratamiento anaerobio de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca”. En: *Revista de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*. 10
- TURAKHIA M. H.; CHARACKLIS, W.G. (1988). Activity of *Pseudomonas aeruginosa* in biofilm: effect of calcium. *Biotechnol. Bioeng.* 33, pp. 406–414.
- UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA. Subprodutos da cana se tornaram fonte de receita. 2014. Disponível em <http://www.udop.com.br/index.php?item=noticiasycod=907#nc> acesso em 19/03/2013
- VERSPRILLE, A.J. (1978). Anaerobic treatment of potato-processing wastewater. Report to Wageningen Agricultural University, The Netherlands, pp. 762–765.
- YU, H.Q.; TAY, J.H; FANG, H.H.P. (2001). The roles of calcium in sludge granulation during UASB reactor start-up. *Water Reserch* 35, pp. 1052–1060.

Diseño de bioadsorbentes de metales pesados a partir de desechos de la cadena productiva de plátano

Irma María García*

Resumen

Hoy en día, los residuos tóxicos generados por las empresas se convierten en una importante fuente de contaminación y ponen en riesgo la salud humana, razón por la cual se hace necesario buscar alternativas que solucionen en forma definitiva este problema. Fundamentado en lo anterior, esta investigación se enfoca hacia el diseño de bioadsorbentes de metales pesados a partir de desechos de la cadena productiva de plátano empleando como material de partida cáscaras de *Musa paradisiaca* provenientes de desechos de la cadena de producción de plátano en el Quindío. Se evalúa la capacidad de remoción de estos metales mediante un proceso de policondensación fenol-formaldehído en medio ácido a diferentes concentraciones, a fin de obtener adsorbentes altamente eficientes y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con metales pesados. Los adsorbentes resultantes presentaron una alta efectividad (mayor del 80 %) en la remoción de los iones Cu (II) y Cr (III) de soluciones acuosas diluidas a diferentes concentraciones, atribuible a su estructura porosa y a la presencia de grupos fenólicos en su superficie. Las isotermas de adsorción de los iones Cu (II) y Cr (III) para los adsorbentes preparados, se ajustaron satisfactoriamente mediante el modelo de Freundlich. Asimismo, se encontró que los adsorbentes tienen una mayor capacidad de retención del ion Cu (II) que del ion Cr (III).

* Universidad La Gran Colombia, seccional Armenia, Colombia.

Por lo tanto, mediante los resultados obtenidos se puede observar que el material vegetal utilizado es una alternativa viable para la descontaminación de aguas.

Palabras clave: policondensación, isotermas, modelo de Freundlich.

Abstract

The toxic residues generated by the companies become a high source of contamination and put in risk the human health reason why one becomes necessary to look for alternatives in order to finish with this problem. It is as well as the adsorption techniques acquire a great interest in this investigation. This way they were prepared adsorbent of heavy metals using like departure material originating rinds of paradisic Muse of remainders of the chain of banana production in the Quindío; the capacity of removal of these metals by means of a polycondensation process is evaluated in the middle acid phenol-formaldehyde to different concentrations, in order to obtain adsorbent from low cost and highly efficient for the contaminated waste water treatment with heavy metals. The adsorbent resultants presented a high effectiveness ($> 80\%$) in the removal of the Cu ions (II) and Cr (III) of aqueous solutions diluted to different concentrations, attributable to its porous structure and the presence of phenolic groups in its surface. The isotherms of adsorption of the ions Cu (II) and Cr (III) for the adsorbent preparations adjusted satisfactorily by means of the model of Freundlich. In addition one was that the adsorbent ones have a greater capacity of retention of the ion Cu (II) that of the ion Cr (III). Therefore it is possible to be observed by means of the obtained results that the used vegetal material is a viable alternative for the decontamination of water.

Keywords: polycondensation, Isotherms, model of Freundlich.

Introducción

La descarga de los efluentes industriales contaminados con metales pesados en los cursos acuíferos es un problema serio que exige ser resuelto con prontitud, ya que su presencia y acumulación provoca efectos tóxicos en las especies vivas. La adsorción ha demostrado ser un procedimiento eficaz para la eliminación de metales pesados del agua, siempre y cuando estos estén presentes en baja concentración (Cooney, 1999).

La técnica de adsorción de metales pesados es de gran importancia en el saneamiento de las descargas de agua que resultan de las actividades industriales. Sin

embargo, el uso de esta técnica exige grandes cantidades de dinero debido al alto costo de los adsorbentes, por lo tanto el desarrollo de nuevos elementos de este tipo a partir de biomasa reviste un interés especial. Una de las alternativas en esta vía es el uso de residuos lignocelulósicos, que en muchos casos tienen un alto contenido tánico, cuyo beneficio estriba en su reconocida capacidad para la formación de complejos de metales pesados.

La obtención de bioadsorbentes de metales pesados a partir de productos de desechos como la cáscara de plátano, ofrece importantes ventajas tecnológicas, ambientales y económicas, en cuanto ofrecen la posibilidad de mejorar los residuos lignocelulósicos de la producción de plátano considerados hoy como una fuente de contaminación del medioambiente. El uso de este producto como materia prima para la obtención de bioadsorbentes tiene un doble propósito generar un producto útil para la descontaminación de aguas residuales y revalorizar este producto (Martínez, Torres, Lázaro, Sivero, Dias, y Cestari, 2004). Con esto en mente, se desarrollaron bioadsorbentes que se utilizan como materia prima o precursor, a partir de cáscaras de plátano verde de la familia de las musáceas (Vidal, 2000), una planta de fácil propagación en zonas agrícolas del departamento Quindío, Colombia.

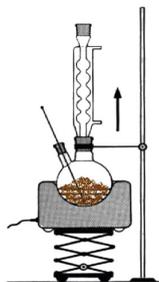
Metodología experimental

Obtención de bioadsorbentes

Los bioadsorbentes se prepararon a partir de cáscara de plátano verde secada en un horno a 80 °C durante 24 horas. Se efectuó una molienda luego de la cual se separaron en un tamiz y se escogió un tamaño de partícula de tres milímetros.

La obtención de bioadsorbentes se basa en el producto de la policondensación del fenol con el formaldehído en medio ácido. Para esto, se prepararon soluciones acuosas de fenol, formaldehído y ácido clorhídrico en concentraciones apropiadas. A la solución reactiva se le añadieron las cortezas en un balón de reacción que se puso a reflujo durante una hora a 60 °C (Figura 13). Posteriormente, las cortezas se lavaron con agua destilada para eliminar completamente los iones cloruro. Las cortezas obtenidas (denominadas CP), se secaron a 80 °C durante 24 h y se almacenaron para posteriores análisis. Las concentraciones obtenidas fueron de 0,5 %, 2 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 % de formaldehído, y 1 % y 2 % de ácido clorhídrico.

Figura 13
Sistema de reflujo para la obtención de adsorbentes
de cáscara de plátano (CP)



Caracterización de bioadsorbentes

La caracterización química de los bioadsorbentes se llevó a cabo mediante pruebas de densidad aparente, grado de hinchamiento, porcentaje de humedad, número de grupos funcionales y espectroscopía de infrarrojo, utilizando la técnica de DRIFT (espectroscopía infrarroja de reflectancia difusa) (Geckeler, 2001).

Grado de hinchamiento y porcentaje de humedad

Estas medidas se hicieron a partir de la cantidad de agua retenida por los bioadsorbentes. En este sentido, se tomaron 0,1g de bioadsorbente el cual se humedeció durante 24 horas. A continuación, se pesaron los bioadsorbentes húmedos y posteriormente se secaron a 80 °C hasta obtener un peso constante. Se utilizaron las siguientes fórmulas para calcular el grado de hinchamiento y contenido de humedad:

$$H_p = \frac{W_{Hinc} - W_{sec}}{W_{sec}} \times 100 \text{ (Ecuación 1)}$$

$$100 - \left(\frac{100}{W_{AdsH}} * W_{AdsS} \right) = \%Humedad \text{ (Ecuación 2)}$$

donde H_p es el grado de hinchamiento, W_{AdsH} es el peso del adsorbente hinchado y W_{AdsS} el peso del adsorbente seco.

Densidad de bulto

Esta se calculó mediante la introducción de una cantidad de bioadsorbente en una probeta, la cual ocupó un volumen de 10ml en este caso.

$$\frac{W_{Ads.}}{V.} = D \text{ (Ecuación 3)}$$

donde D es la densidad aparente, V el volumen ocupado por los adsorbentes y W_{Ads} el peso del adsorbente.

Número de grupos funcionales

Estas medidas se basan en el método tritrimétrico de Boehm, que permite calcular la cantidad de grupos funcionales presentes en la superficie de un adsorbente por reacciones ácido-base, y grupos funcionales selectivos de acuerdo con su diferente fuerza ácida. En este caso, se toma un gramo de bioadsorbente y se pone en 50ml de una solución básica de NaOH (0,1 N) durante diez minutos y se valora por retroceso con ácido clorhídrico (0,1N) utilizando fenolftaleína como indicador. Para el cálculo de la cantidad de grupos fenólicos presentes en la superficie de los bioadsorbentes, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{Eq.OH}{gAds.} = \frac{[NaOH]*Vol_{NaOH} - [HCl]*Vol_{HCl}}{W_{muestra}} \text{ (Ecuación 4)}$$

donde Eq.OH son los equivalentes OH, gAds son los gramos de adsorbente y Vol los volúmenes que se miden para cada concentración de ácido y base.

Análisis infrarrojo por reflectancia difusa DRIFT

Para el análisis de los bioadsorbentes, fue necesario utilizar la técnica DRIFT, (Macho, 2002), ya que era importante caracterizar la superficie de los bioadsorbentes. Estos se secaron debidamente y fueron analizados por DRIFT (FTIR espectrofotómetro) sin causarles disrupción.

Pruebas de adsorbentes para metales

La comparación de los bioadsorbentes con los metales Cu (II) y Cr(III) se hizo mediante pruebas de lotes con el fin de encontrar el más eficaz para estos iones. Posterior a la práctica de la adsorción de metales en presencia del biopolímero, estas soluciones se filtran para los procedimientos colorimétricos posteriores.

Resultados y discusión

En la Tabla 18 se muestran los resultados de los análisis propuestos para la caracterización de bioadsorbentes sintetizados.

Tabla 18
Características físicoquímicas de los bioadsorbentes

	BIOADSORBENTE	DENSIDAD DE BULTO (G/ML)	PORCENTAJE DE HUMEDAD	GRADO DE HINCHAMIENTO	NO. EQ.OH / G AD.
1	CP 0,5-1	0,273	65,14	1,85	0,162
2	CP 2,0-1	0,25	71,52	2,51	0,475
3	CP 5,0-1	0,257	79,55	3,92	0,563
4	CP 10-1	0,271	77,44	3,47	0,597
5	CP 15-1	0,252	69,63	2,26	0,265
6	CP 20-1	0,224	72,65	2,66	0,673
7	CP 0,5-2	0,256	64,9	1,83	1,113
8	CP 2,0-2	0,246	55,57	1,23	0,086
9	CP 5,0-2	0,233	63,24	1,72	1,453
10	CP 10-2	0,177	64,75	1,84	1,834
11	CP 15-2	0,174	66,55	1,95	0,182
12	CP 20-2	0,225	64,65	1,83	0,245

De acuerdo con este análisis, se deduce que los adsorbentes no son homogéneos. El bioadsorbente con menor contenido de humedad y grado de hinchamiento es el número 8, con un valor de 55,57 % de humedad e hinchamiento de 1,23 %. La humedad y grado de hinchamiento más altos corresponde al número 3, con valores de 3,92 % y 79,55 % respectivamente.

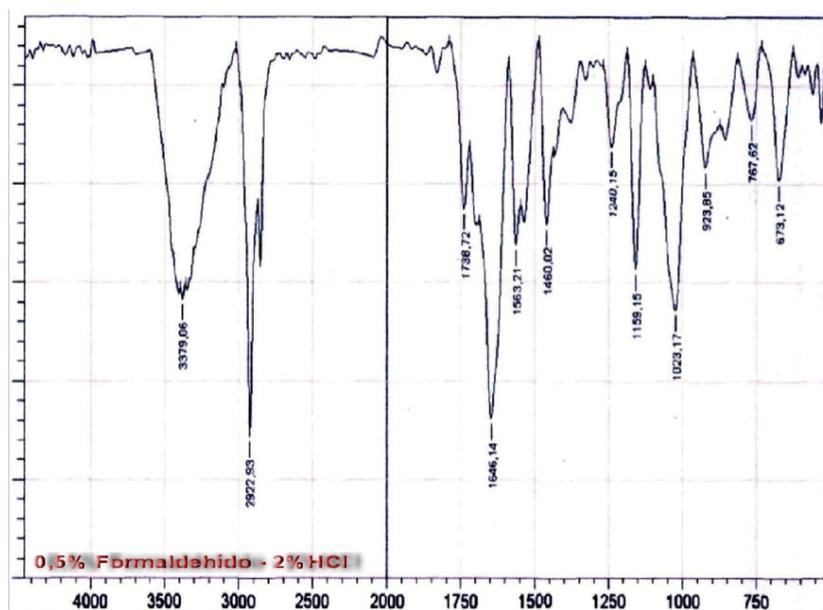
Tanto para el grado de hinchamiento como de humedad, se puede ver claramente que todos los adsorbentes muestran una diferencia estadísticamente significativa que permite deducir que el contenido de agua que pueden retener es diferente. Esto puede ser debido a las diferentes concentraciones.

La humedad y el grado de hinchamiento deben ser calculados, ya que cuanto mayor sea la cantidad de agua que un adsorbente es capaz de retener o adsorber, tanto mayor será la cantidad de metales que se atraparán por el sorbente.

La Tabla 18 muestra también que el mayor número de bioadsorbentes que contienen equivalentes OH son el 7, el 9 y el 10, con valores de 1,113, 1,4531 y 1,8341, respectivamente. Si se analiza a mayor número de grupos OH presentes en las moléculas de esta resina, hay una mayor probabilidad de que el ion (o iones) pueda quelar. De esta manera, obtenemos una idea del tipo de bioadsorbentes con mayor capacidad de adsorción.

La caracterización de adsorbentes por espectroscopia infrarroja de reflectancia difusa (DRIFT) se utilizó para caracterizar la superficie de cada bioadsorbente sintetizado. Se obtuvieron doce espectros, los cuales son similares porque los componentes son los mismos; sólo hubo cambio en las concentraciones (aquí solo mostramos uno de los espectros) (Figura 14).

Figura 14
 Espectro infrarrojo del adsorbente CP O.5-2



Encontramos en la región entre 3370–3600 cm^{-1} absorciones típicas de compuestos fenólicos. Las bandas entre 2922–2924 cm^{-1} se atribuyen a los enlaces de aldehído CH. También puede haber frecuencias entre 1730 cm^{-1}

y 1740 cm^{-1} , característica de los grupos carbonilo presentes. Las bandas que se encuentran entre 1640 cm^{-1} y 1650 cm^{-1} ; y 1560 y 1565 cm^{-1} , se deben a $\text{C}=\text{C}$ de los compuestos aromáticos. Las bandas que aparecen entre 1455 cm^{-1} y 1461 cm^{-1} , son típicas de las vibraciones deformadas de metileno ($-\text{CH}_2-$) de las resinas fenólicas. Entre 1237 cm^{-1} y 1240 cm^{-1} , se encuentran bandas que son típicas de ($-\text{OH}$) de fenol. Los picos entre 1156 cm^{-1} y 1160 cm^{-1} , se asignan a los enlaces CO de éteres alifáticos. Finalmente, las bandas entre 1020 cm^{-1} y 1040 cm^{-1} , se refieren al estiramiento del grupo CO ($-\text{CH}_2\text{OH}$). Los resultados de la caracterización confirman que todo el bioabsorbente fue sintetizado por policondensación debido a una banda que aparece entre 1455 cm^{-1} y 1461 cm^{-1} , la cual indica la presencia de puentes de metileno ($-\text{CH}_2$), obteniendo así lo que se esperaba.

Isotermas de adsorción de freundlich para Cu^{+2} y Cr^{+3}

El modelo de Freundlich se utilizó en este análisis dado que se ajusta a las condiciones experimentales en las que se efectúa este proceso, ya que este modelo solo es válido cuando la adsorción es un proceso físico y no hay cambios en la configuración de las moléculas una vez han sido adsorbidas. Este modelo representa adecuadamente la sorción a bajas concentraciones de metales, ya que no hay fenómenos de saturación (Fiol y Villauscusa, 2001).

$$q_e = K * C_e^{1/n} \quad (\text{Ecuación 5})$$

donde k es una constante de la capacidad de adsorción expresada en $\text{mg} * \text{g}^{-1}$, n es una constante relacionada con la afinidad o la energía de adsorción entre adsorbente y adsorbato y C_{eq} la concentración de equilibrio final del metal expresado en mg/l . Esta ecuación se puede linealizar a partir de su expresión en forma logarítmica:

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (\text{Ecuación 6})$$

En las figuras 15, 16, 17 y 18 se presentan las gráficas de las isotermas obtenidas.

Los resultados muestran que la mejor capacidad de retención con respecto al cobre fue para el bioadsorbente 11 (CP 15-2), con una capacidad de adsorción de 70,762 mg Cu^{+2} adsor/ gAds ; y para el cromo el bioadsorbente 12 (CP 20-2), con una capacidad de adsorción de 39,418 mg Cr^{+3} adsor/ gAds .

Figura 15

Isotermas de adsorción de Freundlich para Cr^{3+} (CP 0,5-1 a CP 20-0,1)

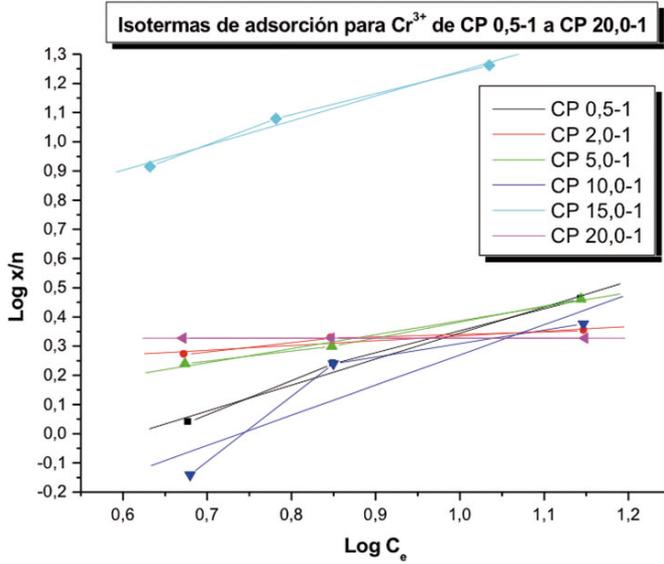


Figura 16

Isotermas de adsorción de para Cu^{2+} (CP 0,5-1 a CP 20-0,1)

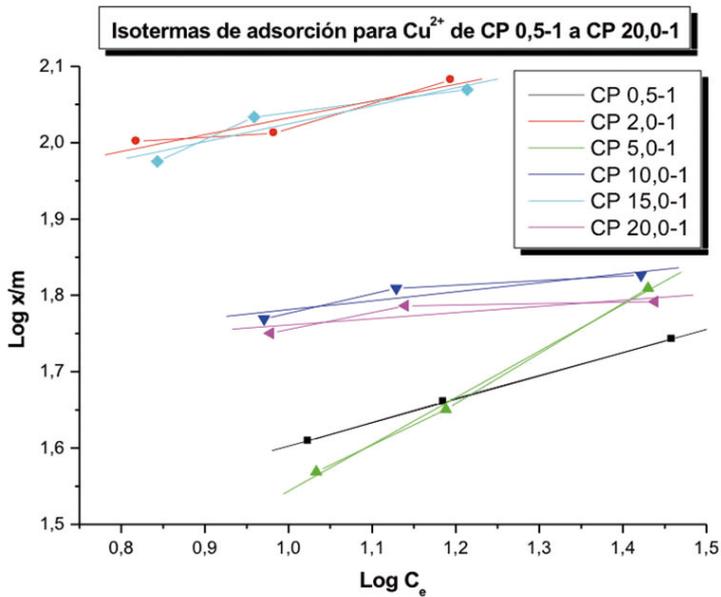


Figura 17

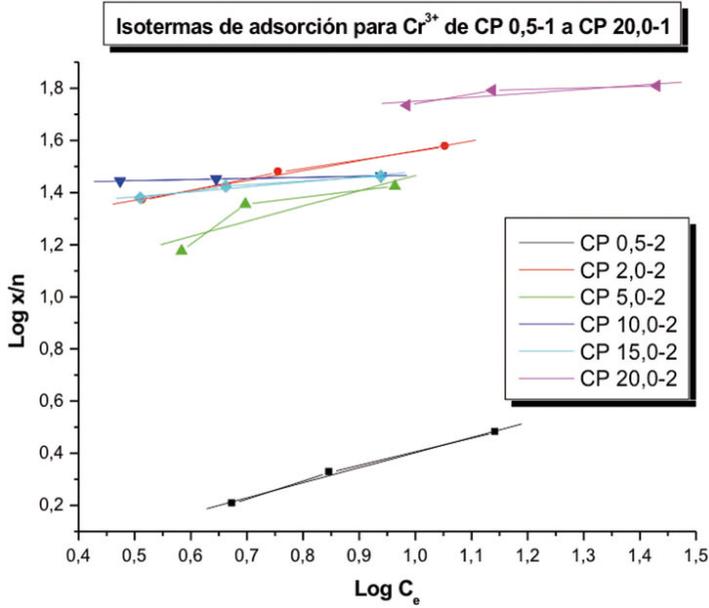
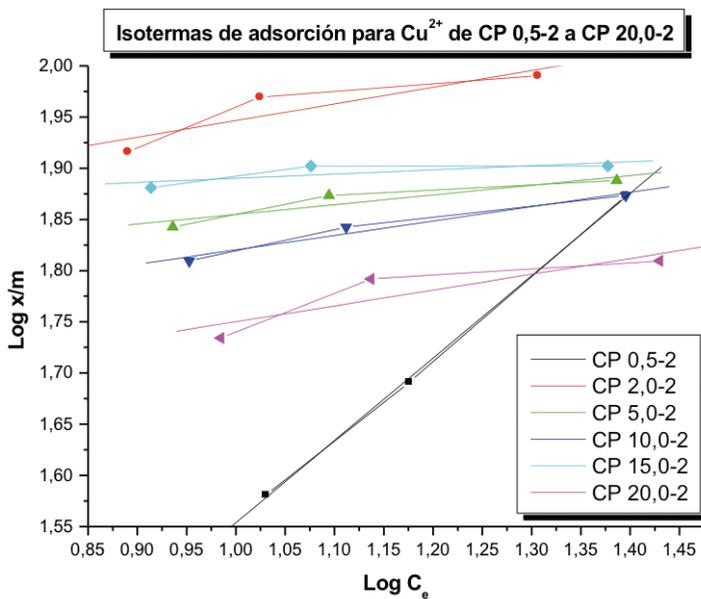
Isotermas de adsorción de Freundlich para Cr^{3+} (CP 0,5-2 a CP 20-0,2)

Figura 18

Isotermas de adsorción de Freundlich para Cu^{2+} (CP 0,5-2 a CP 20-0,2)

Podemos ver claramente que el bioadsorbente retuvo de manera más eficaz el cobre (II) con respecto al cromo (III). En relación con la concentración de CP 20-2, ambos tienen la misma capacidad de adsorción; además, los datos estadísticos muestran que este bioadsorbente posee una mayor selectividad para el cobre que para el cromo.

Se pudo analizar que para ambos iones existe una capacidad de adsorción superior a concentraciones de formaldehído y ácido clorhídrico más altas; es decir, que para las concentraciones de ácido clorhídrico al 2 % mostró una mejor retención.

Conclusiones

Para la reacción de policondensación de fenol-formaldehído llevada a cabo para cáscaras de plátano a diferentes concentraciones de formaldehído y ácido clorhídrico, se obtuvieron doce adsorbentes amorfos y porosos que se utilizaron para posteriores análisis.

A través de la caracterización de los bioadsorbentes, se tuvo una idea más clara de su comportamiento en presencia de metales. En la determinación de grupos funcionales presentes en los bioadsorbentes, se pudo establecer cuál de ellos podría poseer una mejor retención del ion.

En cuanto a la técnica de espectroscopía infrarroja utilizada, esta proporcionó información sobre la polimerización a través de la aparición de una banda de metileno en la región entre 1455 cm^{-1} – 1461 cm^{-1} .

Las isothermas de adsorción de Freundlich determinaron la capacidad de retención de los iones Cu^{+2} y Cr^{+3} , estableciendo de esta manera que el biopolímero obtenido es más selectivo para el ion Cu^{+2} que para el ion Cr^{+3} , utilizando las concentraciones más altas de ácido clorhídrico y formaldehído.

Se comprobó que esta técnica de retención de metales pesados, es una buena alternativa para la descontaminación de aguas residuales que contengan este tipo de metales pesados nocivos para la salud y la vida.

Bibliografía

- COONEY, D. (1999). Adsorption Design Wastewater Treatment. CRS Press LLC. USA.

- FIOL, N.; y VILLAUSCUSA, I. (2001). *Adsorción de Cu (II) y Pb (II) de disoluciones Aquosas amb residuos de pinyol de oliva*. Gerona: Universidad de Gerona.
- GECKELER, K. (2001). *Polymer–metal complexes for environmental protection. Chemoremediation in the aqueous homogeneous phase*.
- MACHO, S. (2002). *Metodologías analíticas basadas en espectroscopía infrarroja y calibración. Aplicación a la industria petroquímica*. Tarragona: Universidad Rovira Virgili.
- MARTÍNEZ, F.; TORRES, J.; LÁZARO, L.; SIVERO, M.; DIAS, J.; y CESTARI, A. (2004). *Método químico de inmovilización de taninos de corteza y su utilización para remover metales pesados en aguas*.
- Vidal, A. (2000). *Química Agrícola*. Universidad de La Plata, Buenos Aires.

Valoración de cenizas de caldera del sector azucarero como producto cementicio

Edward Fernando Toro*

Resumen

La presente investigación estudió la utilización de cenizas volantes como sustituto de cemento Portland proveniente de la cogeneración de energía de las calderas de la industria azucarera del Valle del Cauca, con el propósito de valorar el residuo sólido agroindustrial como cemento. Los materiales usados en la investigación fueron cemento marino tipo V, el cual carece de adiciones, lo que permite evaluar la adición de cenizas volantes sin interferencias químicas; arena del río Cauca; súper plastificante Viscocret 2100 y la adición comercial SikaFume. El primer tratamiento efectuado a las cenizas volantes fue un cribado por medio de tamices. Luego se dividieron en tres proporciones y se agregaron a los morteros al 10 % y 20 % en peso como sustituto parcial del cemento, según la norma NTC 220. Posteriormente, los morteros se curaron bajo agua y se evaluaron a tres tiempos: 14, 28 y 60 días, las siguientes propiedades: físicas (densidad, absorción y porosidad), mecánicas (resistencia a compresión e índice de puzolanidad, según la norma ASTM C311) y de durabilidad (succión capilar). Los resultados obtenidos a los 14, 28 y 60 días de curado, mostraron que los morteros adicionados con 10 % de cenizas volantes presentaron un incremento de la resistencia a la compresión, comparado con el mortero de referencia o sin adición. Finalmente, se concluye que el uso de las cenizas volantes como sustituto de cemento Portland por medio del tratamiento físico

* Doctor en Ingeniería de Materiales. Docente de la Universidad de San Buenaventura Cali, Colombia.

(cribado), se ve influenciado por el tamaño y la cantidad de carbón contenido en las cenizas volantes.

Palabras clave: cenizas volantes, morteros, puzolana.

Abstract

The present research studied the use of fly ash as a substitute Portland cement generated from energy cogeneration boilers in the sugar industry of Valle del Cauca; the purpose is to value the agro-industrial solid waste at the same level as the cement. The materials used in the research were: marine cement, type V, which lacks additions, allowing assess fly ash without adding chemical interferences; Cauca river sand; super plasticizer Viscocret 2100 and SikaFume commercial addition. The first treatment was performed at the fly ash was screened through sieves. Then they were divided into three ratios, and the mortar was added 10 % and 20 % by weight as partial replacement for cement according to the NTC 220 standard mortar subsequently cured under water and evaluated at 3 days, 14, 28 and 60 days, the following properties: physical (density, absorption and porosity), mechanical (compression strength and puzolanidad index, according to ASTM C311 standard) and durability (capillary suction). The results obtained at 14, 28 and 60 days of curing, they showed that the mortars containing 10 % fly ash showed an increase in compressive strength compared with and without addition mortar. Finally it was concluded that the use of fly ash as portland cement replacement by physical treatment (screening), is influenced by the size and amount of carbon having the fly ash.

Keywords: fly ash, mortars, pozzolans.

Introducción

En la región del Valle del Cauca se encuentran diez de los catorce ingenios establecidos en Colombia, los cuales están agrupados en Asocaña. La industria azucarera producen cuatro productos: azúcar, etanol, papel y cogeneración de energía a partir de la combustión del bagazo. Según los datos de Asocaña, los trece ingenios producen un promedio de 6.000.000 toneladas de bagazo al año, de las cuales se transforma en combustible el 85 % (5.1000.000 toneladas) y el restante 15 % en producción de papel (900.000 toneladas). La producción de ceniza por cogeneración de energía proviene del 2 % del bagazo combustionado, para un total de 102.000 toneladas de subproducto en el 2012. Asocaña estima

que para el 2015 la capacidad de cogeneración aumentará en un 333 MW sobre la capacidad actual de 190MW. (*La República*, 2012) (Asocaña, 2013).

La industria cementera colombiana posee un 51 % de la participación en el mercado y cuenta con una capacidad instalada de más de 10,5 millones de toneladas de cemento y 5,6 millones de metros cúbicos de concreto al año (datos del 2007). Actualmente, la industria cementera sufre el problema de su limitado abastecimiento de caliza y falta de equilibrio en la cadena productiva sostenible, al ser la industria que más produce dióxido de carbono y usa recursos no renovables, lo cual le genera dificultades económicas, sociales y ambientales. En el 2008, Argos buscó atenuar esta problemática mediante la incorporación de 67.000 toneladas de materiales no convencionales de origen industrial, entre retales, yesos, lodos de Al y calaminas, correspondientes al 2,8 % del volumen total de generación al año en Colombia a sus operaciones (Baron, 2012).

En esta dirección la industria manufactura cementera pretende asegurar el suministro de materias primas renovables y reducir la contaminación y los altos costos relacionados con la fabricación de cemento Portland, al tiempo que la industria azucarera busca utilizar las cenizas volantes (CV) de bagazo o carbón de fondo de caldera (cenizas volantes) con el fin de disminuir su impacto ambiental dado su mal almacenamiento.

El estudio comprende, en primera instancia, elaborar un diagnóstico técnico de las cenizas de fondo generadas por la industria, para una vez establecidas sus características físicas y químicas, proceder a su evaluación como materia prima. A fin de valorar el comportamiento de las cenizas como adición, se seguirán los procedimientos establecidos por la norma ASTM C311 y C618 y se hará una clasificación por tamaño mediante la separación de las fracciones gruesa, mediana y fina. Cada fracción será evaluada de acuerdo con las normas mencionadas. Si ninguna de las fracciones muestra un comportamiento afín a la norma ASTM C618, se procederá a efectuar varios tratamientos (físicos, térmicos y químicos) para generar la puzolanidad. Por último, con las cenizas tratadas se evaluaron las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la mezclas cementicia (Onésippe, 2010); (Lee, 2010).

Metodología

Las cenizas volantes se clasificaron por tamaño para luego evaluar su capacidad puzolánica en morteros, según la norma ASTM C 311. Se hizo un tamizado a las cinco muestras a través de siete mallas: tamiz 16, 30, 50, 100, 200, 270 y 325, con el fin de separar manualmente la fracción y conocer sus inquemados.

De este proceso preliminar resultarán tres fracciones, cada una de las cuales fue evaluada con índice de puzolanidad y LOI. La fracción que presente la cantidad de inquemados más alta será desechada y las fracciones restantes mezcladas de nuevo. Las fracciones cuyos resultados se aproximan a los parámetros fijados por la norma ASTM C618, pasan a la etapa de evaluación, la cual se llevara a cabo de acuerdo con la norma ASTM C311, mediante pruebas de granulometría, peso específico y porcentaje retenido en tamiz 325, LOI e I.P. (Li, 2009); (Maschio, 2011).

En la investigación se utilizó un cemento Portland tipo V, proveniente de la empresa Argos. Sus propiedades físicoquímicas fueron evaluadas según las normas técnicas colombianas NTC 221, 110, 111, 33, 118 y 220, respectivamente, para peso específico (3030 kg/m³); consistencia normal (2,8 %); fluidez (a/c) (0,63); finura blaine (336 m²/kg); tiempos de fraguado inicial (142 min.) y final (295 min.); tiempo de fraguado del cemento con 0,4 % de aditivo (inicial: 197 min.; final: 340 min.); resistencia a la compresión del mortero patrón a siete días (8,87 MPa), 14 días (12.15 MPa) y 28 días (21.23 MPa). La caracterización química del cemento y la distribución de tamaños se presentan en las tablas 19 y 20, respectivamente (Uibua, 2011); (Lee, 2010).

Tabla 19

Caracterización química del cemento sin adición, arena y ceniza volante

COMPONENTES QUÍMICOS									
Componente	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Pérdida al fuego	Residuo insoluble	CaO libre
Arena	0.03	5.45	10.70	14.34	15.33	16.37	18.56	19.21	
Cemento	21.87	5.75	3.95	58.85	1.44	3.30	2.89	0.77	0.98
Ceniza volante	39,8	18,91	10,02	2,9	0,43	1,82	19,59	2,44	–

Tabla 20

Distribución de tamaños de los componente de la mezclas

DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS												
Componente	Tamiz ASTM No.	30	40	50	60	70	100	200	Fondo	270	325	Fondo
Arena	Porcentajes:	0.03	5.45	10.70	14.34	15.33	16.37	18.56	19.21			
Ceniza volante	Retenido	3,72		16,64			20,14	20,56		20,03	13,36	5,71
Ceniza volante	Acumulado	3,72		20,20			40,34	60,90		80,93	94,29	100

Resultados

La dosificación de los ensayos preliminares se observa en la Tabla 21. Se hicieron nueve mezclas con tres repeticiones cada una. Se utilizó la técnica de mesa flujo (ASTM C 230) para determinar los rangos de trabajabilidad de cada mezcla. Relación agua cemento (a/c) entre (0,45–0,71).

Tabla 21

Dosificación de las mezclas de los morteros con CV con un 0,4 % de aditivo superplastificante

MEZCLA	PORCENTAJE DE CENIZA	R A/C
Mezcla 1	0	0,55
Mezcla 2: patrón	0	0,45
Mezcla 3	10 R tamiz 50	0,57
Mezcla 4	10 R tamiz 200	0,62
Mezcla 5	10 P tamiz 3250	0,67
Mezcla 6	20 R tamiz 50	0,59
Mezcla 7	20 R tamiz 200	0,69
Mezcla 8	20 P tamiz 325	0,71
Mezcla 9	10 humo de sílice	0,62

El ensayo de pérdida por ignición o pérdida al fuego se observa en la Tabla 22. Las CV R tamiz 50 tienen un tamaño de partícula mayor a 297 μm y el mayor contenido de carbón (8,52 %). Respecto a las partículas menores a 297 μm , los porcentajes de inquemados son bajos.

Tabla 22

Índice de pérdida por ignición

RANGO	CÓDIGO DE LA CV	PESO EN GRAMOS	PORCENTAJE	PÉRDIDA AL FUEGO PESO G	% PÉRDIDA AL FUEGO
Retenido 16 hasta el 50	RTamiz50	100,9	20,20	8,60	8,52
Retenido 100 hasta el 200	RTamiz200	203,30	40,70	13,84	6,81
Retenido 270 hasta el pasa 325	PTamiz325	195,30	39,10	8,32	4,26
Todo	Ceniza	499,50	100,00	30,76	19,59

El índice de puzolanidad se elaboro según la norma ASTM C 618. En la Tabla 23 se observa la mezcla 6 (20 % R tamiz 50) no alcanzó el 75 % establecido por la norma. Es decir, incumple el índice de puzolanidad. Por otra parte, con

las mezclas 7 y 8 (TR50) se observó un índice de puzolanidad de 80 % y 90 %, respectivamente.

Tabla 23
Índice de puzolanidad (a 28 días por norma ASTM C 618)

MORTERO	CENIZA	IP(MPA) 28 DÍAS
Mezcla 6	20 R tamiz 50	70,66
Mezcla 7	20 R tamiz 200	80,68
Mezcla 8	20 P tamiz 200	90,69

En la Tabla 24 y en la Figura 19, se observa que la resistencia más alta alcanzada a 28 días fue con el humo de sílice (27,43 Mpa), seguido de la mezcla 5, PT325 (22,90 Mpa). Comparado con la mezcla de referente comercial, estuvo por debajo. Se destaca que entre todas las mezclas a 28 días, fue la mejor sin tratamiento alguno.

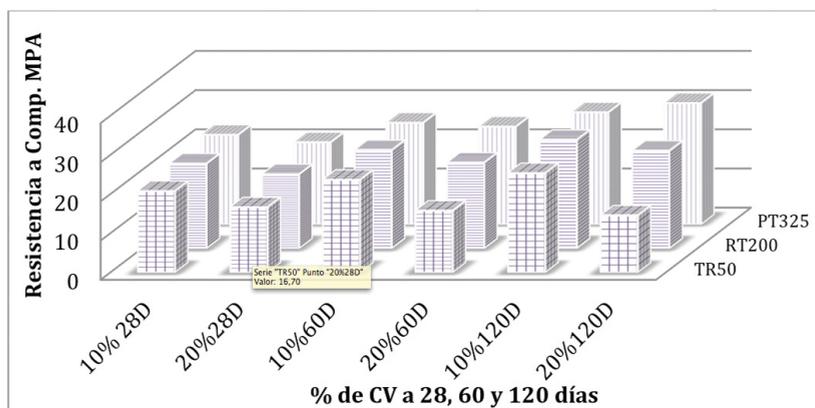
Tabla 24
Resultados de propiedades mecánicas de las mezclas de mortero a 28, 60 y 120 días, con tres rangos de tamaño de ceniza

RANGO DE CENIZA	10 % 28D	20 % 28D	10 % 60D	20 % 60D	10 % 120D	20 % 120D
RT50	20,83	16,70	23,70	15,80	25,40	14,50
RT200	21,73	19,07	25,17	22,07	27,80	25,67
PT325	22,90	21,43	26,00	25,63	28,63	30,53
Patrón	21,90		22,13		22,73	
HS	27,43		28,63		33,87	

Conclusiones

El alto porcentaje de carbón contenido en las cenizas afecta las propiedades mecánicas y durabilidad de los morteros. La finura favorece la puzolanidad y el alto porcentaje de carbón disminuye la durabilidad. Algunas mezclas cumplieron con el índice de puzolanidad establecido por la norma ASTM C611. La mezcla 4 con el 10 % de CV, tamiz 200, obtuvo el mejor comportamiento mecánico. De esta forma, al tratar la CV físicamente se generó un valor agregado, evitando así malas disposiciones. De esta manera se reduce el impacto ambiental del residuo sólido del sector azucarero. Uno de los parámetros necesarios para considerar puzolana un material (ASTM C611) es que contenga un máximo de 10 % de

Figura 19
 Propiedades mecánicas de las mezclas de mortero a 28, 60 y 120 días,
 con tres rangos de tamaño de ceniza

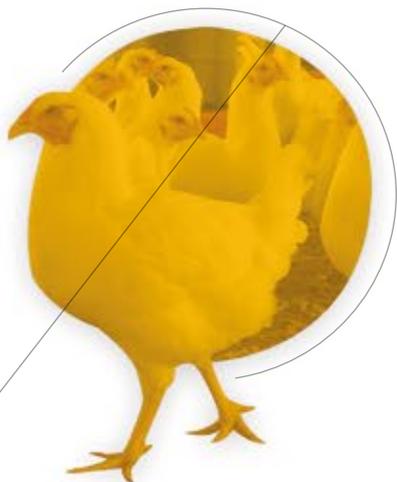


pérdida por ignición (LOI); una estructura amorfa; mínimo 5 % de material retenido en el tamiz 325 y un porcentaje mínimo de 70 % en la sumatoria de dióxido de silicio, óxido de aluminio y óxido de hierro.

Bibliografía

- Asocaña. (2013). *Balace azucarero colombiano Asocaña 2013*. Cali: Revisado y consultado el 10 de septiembre del 2014.
- BARON, O. A. (2012). *Tecnología del concreto moderno*. Cali: Universidad Javeriana.
- *La República* (12 de Septiembre de 2012). Sector azucarero, potencia en cogeneración. Publicado en septiembre 12 de 2012. Consultado el 10 de septiembre de 2014.
- LEE, T. (2010). “Conditioned MSWI ash–slag–mix as a replacement for cement in cement mortar”. In: *Construction and Building Materials*, 970; 979–24.
- LI, J. (2009). “Leaching of aluminum and iron from boiler slag generated from a typical Chinese Steel Plant”. In: *Journal of Hazardous Materials*, 1096–1101.
- MASCHIO, S. (2011). “Fly and bottom ashes from biomass combustion as cement replacing components in mortars production: Rheological behaviour of the pastes and materials compression strength”. In: *Chemosphere*, pp. 666–671.

- ONÉSIPPE, C. (2010). “Sugar cane bagasse fibres reinforced cement composites: Thermal considerations”. In: *Composites: Part A 4*.
- SIDDIQUE, R. (2010). Utilization of coal combustion by-products in sustainable construction materials. *Resources, Conservation and Recycling* , pp. 1060–1066.
- UIBUA.; M. (2011). The CO₂-binding by Ca–Mg–silicates in direct aqueous carbonation of oil shale ash and steel slag. *Energy Procedia*. pp. 925–932.



El aprovechamiento de residuos agroindustriales es un foco de gran interés e importancia para el país y el mundo, pues permite disponer de manera adecuada los residuos de diferentes agroindustrias como materia prima para generar diversos productos de interés, disminuyendo así la contaminación y optimizando los procesos, con la consecuente mejora en la rentabilidad de las empresas.

Una disposición y aprovechamiento adecuados de los residuos provenientes del procesamiento de materias primas de origen biológico, hace de las agroindustrias entes más competitivos, lo cual se traduce en una mejora sustancial de su rentabilidad y en un impulso para la economía

