

Aprovechamiento de residuos ligno-celulósicos en la elaboración de empaques secundarios ecológicos

EVELIN TAMAYO GUTIÉRREZ¹
OSCAR SARASTY MIRANDA²
ELIZABETH MOSQUERA QUELAL³

RECIBIDO: 11/01/2017 ACEPTADO: 18/05/2017

Resumen

El presente estudio propone una alternativa a la utilización de materiales de petróleo y lignocelulósicos vegetales de origen forestal para la elaboración de empaques secundarios. Se fabricaron cajas con fibras obtenidas del banano y coco, aglutinadas con arrozillo. Primeramente, fueron evaluadas las características del arrozillo de 3 variedades comerciales producidas en Ecuador en cuanto a la cantidad de sólidos hidrosolubles, característica que presentó diferencias significativas, y contenidos de almidón, donde no hubo diferencias estadísticas. Posteriormente, se elaboraron aglomerados de la variedad de arrozillo INIAP 15 y las fibras vegetales en dos diferentes porcentajes de composición para cada tipo de fibra; en dónde se evaluaron características físicas de densidad, tensión y resistencia. Los aglomerados a base de fibra de coco y de banano alcanzaron los valores altos en las tres características físicas evaluadas a diferencia del aglomerado elaborado a base de caña de azúcar, vegetal que finalmente fue descartado como material alternativo en la elaboración de cajas.

Palabras clave: Material lignocelulósico; fibras; empaque secundario.

USE OF LIGNO-CELLULOSE RESIDUES IN THE ELABORATION OF ECOLOGICAL SECONDARY PACKAGES

Summary

The present study proposes an alternative to the use of petroleum materials and vegetal lignocellulosic forest materials to manufacture of secondary packages. Boxes were made with fibers obtained from banana and coconut, agglutinated with rice. Firstly, it was evaluate the amount of water soluble solids was evaluated in the stream, a characteristic that showed significant differences, and of starch, where there were no statistical differences. Subsequently, agglomerates of the rice variety INIAP 15 and the vegetal fibers were elaborated in two different percentages of composition for each type of fiber. Where there were evaluate of density, tension and resistance. Coconut-fiber and banana-based agglomerates reached the highest values in the three physical characteristics evaluated, unlike the agglomerate made from sugarcane, which was eventually discarded as an alternative material in the manufacture of boxes.

Key words: Lignocellulosic material; fibers; secondary packaging.

1. INTRODUCCIÓN:

La búsqueda de procesos y productos limpios y amigables con el ambiente ha incrementado el auge de aprovechar los recursos naturales renovables y con bajo impacto en el proceso de obtención de materias primas.

Dentro de la agroindustria, los subproductos de los procesos constituyen un valor importante dentro de esta línea, entendiendo por subproductos agroindustriales los residuos sólidos, semi-sólidos o líquidos originados en la actividad agraria, derivados de la recolección del producto principal o procedentes de alguno de los eslabones de la cadena de la manufacturación industrial (Gasa y Castrillo, 2002).

La fabricación de empaques secundarios a través del uso de materiales lignocelulósicos agrícolas como el mesocarpio de coco (*Cocos nucifera*), pseudotallo del banano (*Musa paradisiaca*) y arroz (*Oryza sativa*), constituyen elementos óptimos por la cantidad de residuos que se obtiene durante los procesos agroindustriales de varias líneas de productos de importancia en el Ecuador, y por las características benéficas propias de cada uno de los materiales.

De acuerdo a la definición de la Guía Logística Internacional publicada por PROECUADOR (2015), empaque es todo producto que se utiliza para proteger, contener, manipular y presentar el producto final y, empaque secundario se considera a todo complemento externo que puede contener al empaque primario o permite agrupar varios empaques; dentro este nivel se encuentran las cajas de cartón, canastas, bandejas, cajas agujereadas, entre otros.

El tipo de material utilizado para los empaques secundarios, depende del producto, el tipo de transporte (terrestre, aéreo o marítimo) y el destino final PROECUADOR (2015). Sin embargo, desde el punto de vista ambiental, es de vasta importancia considerar que muchos de estos materiales no tienen usos posteriores luego de su función inicial y por tanto se constituyen en materiales contaminantes.

- 1 Docente Ingeniería Agroindustrial y de Alimentos. Universidad de las Américas - Ecuador evelin.tamayo@udla.edu.ec
- 2 Docente Ingeniería Agroindustrial y de Alimentos. Universidad de las Américas - Ecuador maria.mosquera@udla.edu.ec
- 3 Graduado Ingeniería Agroindustrial y de Alimentos. Universidad de las Américas - Ecuador osarasty@udlanet.ec

Materiales como el cartón y el papel, si bien pueden tener un proceso repetitivo de reciclaje, la elaboración inicial requiere de fibras de celulosas obtenidas principalmente de especies maderables, y para su elaboración, se utilizan adhesivos y colas con bases petroquímicas como formaldehidos. Los pinos (*Pinus sp.*) son la principal materia prima utilizada en la fabricación de cartón, crecen con rapidez, y las fábricas de envases poseen miles de hectáreas dedicadas a este cultivo. Una vez cortados, estos materiales son enviados a la fábrica de extracción de celulosa.

Actualmente, los fabricantes de cartón prestan atención a los temas relacionados con la salud, el medio ambiente y la legislación vigente sobre envases y embalajes desechables. Por este motivo, buscan recursos renovables para elaborar todo el material demandado.

De acuerdo a la disponibilidad de residuos ligno-celulósicos agrícolas que se pueden utilizar como alternativas al uso de maderables y sintéticos, Ecuador cuenta con una gama de productos subutilizados de fibras naturales provenientes del banano y coco.

En el caso del banano, el 30% de la oferta mundial proviene de Ecuador, donde se cultiva aproximadamente 175 000 hectáreas de la fruta, con una densidad de siembra promedio de 110 plantas por hectárea PROECUADOR, (2016). El cultivo permite que cada planta tenga una producción única, una vez cosechada la fruta se procede a cortar la planta principal y se da paso al crecimiento de una segunda que tome su lugar en la producción; esta planta que ha sido cortada servirá de materia orgánica en el cultivo. La característica fibrosa del pseudotallo del banano permite una utilización industrial de este residuo vegetal, que actualmente, ha sido explotado a baja escala en la elaboración de artesanías.

Otro de los cultivos prometedores en cuanto a la producción de fibras como subproducto de la industrialización es la palma de coco. El último Censo Agropecuario de Ecuador reflejó apenas 1212 hectáreas cultivadas de la palma y se encuentran centradas principalmente en la provincia de Manabí; sin embargo, las posibilidades de expansión son muchas, siendo uno de los pocos plantíos que se observan en las playas y cercanías Salto (2014).

Por otro lado, han existido varios estudios que muestran que la fibra de caña de azúcar puede ser un potencial recurso ligno-celulósico en la elaboración de aglomerados. Contreras (1997). Tomando esta premisa, se ha realizado pruebas como testigo con esta materia prima ya que Ecuador cuenta con una importante producción de caña de azúcar,

que, según el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador CINCAE (2013), en Ecuador se siembra anualmente 81 000 hectáreas para producción de azúcar y etanol, otras 50 000 hectáreas se destinan para la producción de panela y alcohol artesanal, con una cosecha en promedio de 80 t/ha de caña CINCAE (2013). Según Larrahondo, (1995), las fibras leñosas de la caña de azúcar constituyen aproximadamente un 14% de su peso total, por tanto, se estima que, luego del procesamiento inicial de la caña, la producción de fibra residual alcance un estimado de 11.2 t/ha que, en su mayoría, no contarían con ningún proceso industrial y serían destinadas a ser utilizadas como abono o combustible de calderas.

La factibilidad de utilizar materiales de desechos y aplicar los mismos en la elaboración de materiales cuenta con varios estudios realizados, sin embargo, en su mayoría se reporta el uso de aglutinantes artificiales de fuentes hidrocarburíferas y contaminantes como los formaldehidos y pegamentos de origen de petróleo que, pese a que logran una adaptabilidad y estabilidad de las fibras a procesos industriales masivos, no se ha logrado constituir materiales cien por ciento ecológicos y biodegradables amigables con el ambiente.

Las características aglutinantes del arroz, otorgadas por la presencia de almidones y sólidos hidrosolubles en el grano constituyen en factores de reemplazo a los aglutinantes industriales. Por motivos de seguridad alimentaria, no se utilizó el grano de arroz por su vasto uso en la alimentación humana, sino que se dio uso a uno de los residuos del proceso de pilado que es el arroz quebrado llamado arrocillo. En el Ecuador, la mayor producción de arroz se concentra en la costa del país especialmente en las provincias del Guayas y Los Ríos; en el año 2012 la siembra del mencionado cereal fue de 412 496 ha (Moreno, 2015).

En la visita y recopilación de datos a una de las piladoras más importantes de la provincia del Guayas – Ecuador, se estableció que durante el proceso de secado y pulido del arroz, los subproductos generados son: 1 al 2.5% de impurezas, 3 al 5% de polvillo de arroz, 5 al 10% de salvado del arrocillo, entre 40 al 50% de cascarilla y 30 al 45% de arroz blanco pulido (C. Vargas, comunicación personal, 11 de junio del 2016). La vasta producción del cereal, permite que la obtención de materia prima para la elaboración del aglomerado sea de fácil acceso por los altos volúmenes de producción.

En este contexto, el desarrollo, diseño, adaptación e implementación de variantes tecnológico-ingenieriles sustentables en Ecuador con materiales orgá-

nicos y residuales de la industria agropecuaria es de importancia económica para el país; la elaboración de empaques secundarios, considerada como base conceptual de la fabricación de aglomerados vegetales permitirá minimizar el impacto ambiental a largo plazo.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Las variedades de arroz utilizadas para el estudio fueron INIAP 9, INIAP 14 e INIAP 15, producidas en la provincia del Guayas, Ecuador, a 22 m.s.n.m., con temperatura promedio de 24°C y una precipitación promedio anual de 1 500mm.

Del proceso de industrialización del arroz, se tomó como material experimental únicamente el arrozillo, en el cual se analizaron los porcentajes de sólidos hidrosolubles y de almidón.

La medición de sólidos hidrosolubles se realizó a través del proceso propuesto por Southgate (1991) mediante el peso de los residuos sedimentados luego del proceso de ruptura, tamizado, lavado con agua y alcohol y centrifugado de la muestra.

El cálculo del porcentaje de almidón se basó en la técnica de Southgate (1991) por métodos polarimétricos, realizando la molienda de la muestra, tamizado de los residuos y categorización de los resultados obtenidos en porcentajes.

Con la variedad de arroz que presentó mayores valores de las características evaluadas, se procedió a elaborar aglomerados con 3 tipos de fibras vegetales: tallo de caña de azúcar, mesocarpio del coco y pseudotallo de banano, en diferentes proporciones en el aglomerado.

Cada uno de estos aglomerados constituyeron los tratamientos, 6 en total, y se evaluaron con 5 repeticiones cada uno como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de estudio (Laboratorio Universidad de las Américas, 2016)

Tratamiento	Tipo de fibra	Fibra en el aglomerado (% en peso seco)	Arrozillo en el aglomerado (% en peso seco)
1	Coco	70%	40%
2	Coco	60%	30%
3	Caña de azúcar	60%	50%
4	Caña de azúcar	50%	40%
5	Banano	70%	40%
6	Banano	60%	30%

Fuente: Elaboración propia

El tratamiento de la fibra previo a la elaboración del aglomerado fue el secado en condiciones ambientales de la ciudad de Quito: temperatura promedio de 18°C y humedad relativa del 70% durante un periodo promedio de 21 días. Posteriormente, se trituró el material vegetal con la ayuda de la picadora de forraje TRAPP-TRF 700 que permitió obtener dimensiones de fibras entre 0.5 y 3 mm de largo.

Para el caso del arrozillo, se expuso a cocción durante 1 hora y 30 minutos hasta obtener una mezcla ligeramente viscosa, luego se realizó la mezcla con la fibra en los porcentajes explicados en la Tabla 1, posteriormente se procedió a la expansión de la masa y finalmente fue prensado a 20 kgf/cm² con prensa manual.

Una vez extraído el material, fue secado durante 15 días a temperatura ambiente en condiciones similares a las mencionadas anteriormente, luego se procedió a autoclavar durante 1 hora a 120°C y secado durante 2 días en condiciones ambientales. A continuación se procedió a dar la forma de caja de acuerdo a las dimensiones del empaque testigo y se realizó las evaluaciones mecánicas de dureza superficial, tracción y densidad (ver figura 1).

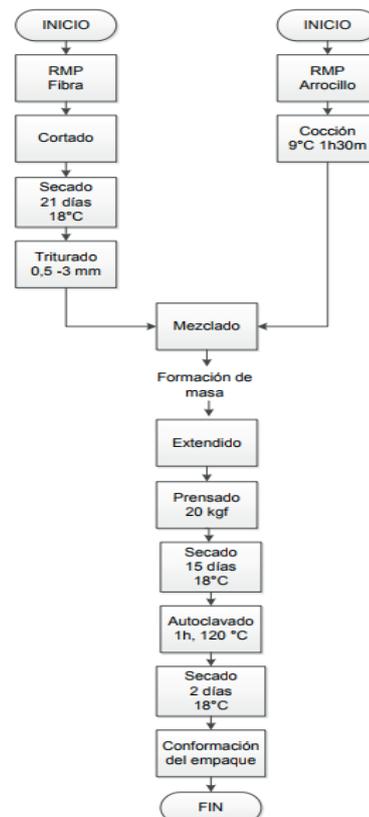


Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración de empaques secundarios ecológicos

Fuente: Elaboración propia

La dureza superficial se midió con un Penetrómetro FT327 marca QA Supplies de escala 0-11 Kg. (0-24 lb) y con puntal de 3mm (ver figura 2A). Para esta prueba se elaboró una plantilla de toma de datos y se colocó sobre la superficie a medir de cada una de las muestras para unificar el proceso de medición, tomando 34 datos por cada una de las cajas elaboradas.

El ensayo de tracción consistió en someter a una probeta de 82mm x 56mm x 5mm de espesor a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la misma (ver figura 2B). La densidad se calculó obteniendo las medidas de cada muestra en relación al peso aplicando la fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Para esta investigación se utilizó el método experimental y se comparó entre variedades de arroz y las diferentes formulaciones para la elaboración de aglomerados (ver figura 2C).

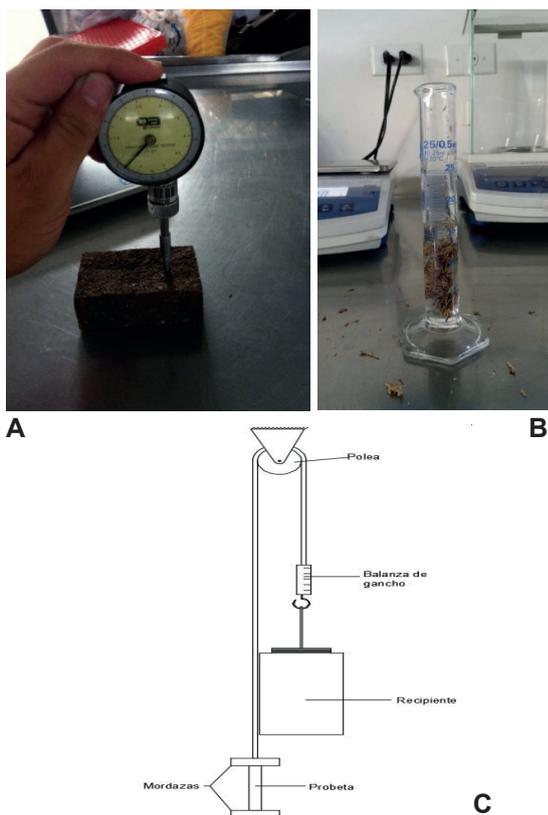


Figura 2. Evaluaciones mecánicas del empaque secundario: 2A. Medición de dureza; 2B. Medición de densidad; 2C. Esquema de equipo para medición de tracción

Fuente: Elaboración propia

Las variables independientes fueron 1) la variedad del arrozillo, 2) el tipo de fibra y 3) los porcentajes de fibra y arrozillo en cada tratamiento y las variables dependientes fueron 1) cantidad de almidón y sólidos hidrosolubles del arrozillo, 2) resistencia superficial, tracción y densidad del material aglomerado. El programa estadístico utilizado fue Infostat versión L.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

La evaluación de las variedades de arroz en cuanto al contenido de sólidos hidrosolubles reflejaron diferencias estadísticas, en contraste a la cantidad de almidón. Los datos fueron analizados con un grado de significancia del 5% y se obtuvo un p-valor inferior por lo cual se seleccionó la variedad INIAP 15 que presentó un promedio mayor frente a las variedades INIAP 9 e INIAP 14 como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2: Contenido de sólidos hidrosolubles en arrozillo con los respectivos rangos Tukey

Varietal de arroz	Peso de sólidos hidrosolubles (g)
INIAP 9	1.66 ± 0.15 a
INIAP 14	1.51 ± 0.06 b
INIAP 15	2.59 ± 0.13 c

Fuente: Elaboración propia

Los datos promedio fueron el resultado de la evaluación de cinco repeticiones de cada tratamiento, datos que al ser procesados permitieron la selección de la variedad óptima según los datos de interés.

La segunda evaluación de las características del arrozillo correspondió a la cantidad de almidón que posee la variedad. Esta variable no presentó diferencias significativas (p-value del análisis previo: 0.0769): entre variedades de arroz estudiadas y sus resultados se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Contenido de almidón en arrozillo

Varietal de arroz	Peso del almidón (g)
INIAP 9	72.2 ± 1.68
INIAP 14	71.0 ± 2.31
INIAP 15	74.2 ± 2.05

Fuente: Elaboración propia

En virtud de estos resultados, las pruebas discriminativas para la selección de una de las variedades de arroz se limitaron al factor sólidos hidrosolubles, esta decisión se fundamenta en las premisas que Benavidez (2006) quien asevera que la cantidad de sólidos hidrosolubles representan un potencial gelificante por la alta concentración de amilosa que estos poseen.

El material aglomerado armado en forma de caja fue evaluado inicialmente en cuanto a la dureza superficial, estos datos figuran en la Tabla 4.

Tabla 4. Dureza superficial del aglomerado (kgf) con los respectivos rangos Tukey

Tratamientos y composición	Dureza \pm desviación estándar
T1 (Coco 70% Arrocillo 30%)	4.67 \pm 1.45 a
T2 (Coco 60% Arrocillo 40%)	5.68 \pm 1.45 b
T3 (Caña 60% Arrocillo 40%)	4.19 \pm 0.73 c
T4 (Caña 50% Arrocillo 50%)	2.49 \pm 0.94 d
T5 (Banano 70% Arrocillo 30%)	3.96 \pm 0.69 e
T6 (Banano 60% Arrocillo 40%)	5.29 \pm 0.89 f

Fuente: Elaboración propia

El análisis estadístico mostró que existen diferencias significativas. La prueba de separación de medias permitió identificar a los tratamientos T2 y T6 como los de mayor dureza superficial.

Una segunda prueba aplicada al material aglomerado fue el ensayo de tracción, datos reflejados en la Tabla 5.

Tabla 5. Ensayo de Tracción (Newton) con los respectivos rangos Tukey

Tratamientos y composición	Tracción \pm desviación estándar
T1 (Coco 70% Arrocillo 30%)	9.80 \pm 1.25 a
T2 (Coco 60% Arrocillo 40%)	14.80 \pm 1.04 b
T3 (Caña 60% Arrocillo 40%)	14.80 \pm 1.03 e
T4 (Caña 50% Arrocillo 50%)	12.10 \pm 0.65 f
T5 (Banano 70% Arrocillo 30%)	14.90 \pm 1.02 c
T6 (Banano 60% Arrocillo 40%)	21.40 \pm 1.14 d

Fuente: Elaboración propia

Al igual que la prueba precedente, los resultados mostraron diferencias significativas, el T6 presenta superioridad notable frente a los otros tratamientos evaluados.

Finalmente, se evaluó la característica de densidad del aglomerado cuyos resultados se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Densidad de Aglomerados (g/cm^3) con los respectivos rangos Tukey

Tratamientos y composición	Tracción \pm desviación estándar
T1 (Coco 70% Arrocillo 30%)	0.79 \pm 0.08 a
T2 (Coco 60% Arrocillo 40%)	0.70 \pm 0.07 b
T3 (Caña 60% Arrocillo 40%)	0.50 \pm 0.05 c
T4 (Caña 50% Arrocillo 50%)	0.38 \pm 0.01 d
T5 (Banano 70% Arrocillo 30%)	0.58 \pm 0.07 e
T6 (Banano 60% Arrocillo 40%)	0.63 \pm 0.06 f

Fuente: Elaboración propia

En esta prueba, los tratamientos con base en fibra de coco: T1 y T2 presentaron los valores más altos frente a sus comparativos.

De acuerdo a los resultados de los análisis aplicados, los tratamientos conformados con la fibra de caña de azúcar no alcanzaron niveles importantes de las características evaluadas frente a los otros tratamientos, es así que, para el objetivo planteado en el presente estudio se descartó el uso de este material para la elaboración de los empaques secundarios.

3.2 Discusión

Las técnicas ingenieriles utilizadas para este tipo de aglomerado demostraron que, a pesar de la elaboración artesanal y de la adaptación a las condiciones ambientales de Quito-Ecuador, los resultados son favorables y comparativos frente a materiales que comercialmente se encuentran en el mercado como el caso del cartón y constituyen una alternativa ecológica como uso como empaque secundario.

Los métodos de elaboración del aglomerado se pueden mejorar principalmente manejando los tiempos de obtención del producto final, y aplicando protocolos de procesos industriales como secado de las materias primas, el autoclavado e incluso el diseño de moldes específicos para dar las características deseadas a las láminas. Dentro de las operaciones unitarias de elaboración del aglomerado se puede destacar que el arrocillo utilizado como aglutinante se comportó como un material estable sin presentar alteraciones físicas dadas las cualidades del almidón de arroz como indica López, (2013) quien reporta que el tamaño aproximado es de 6μ

de diámetro y a su vez cuando entra en contacto con el ambiente húmedo este tiende a secarse y endurecerse. Otra característica fundamental a tomar en cuenta para la utilización del arroz es la presencia de sólidos hidrosolubles, pues este tiende a generar un poder más gelificante por las características químicas que proporciona la amilosa como menciona en su estudio Benavidez (2006).

La cantidad de residuos lignocelulósicos agroindustriales y residuos de maquilas de cereales que hasta hoy no han sido aprovechados de forma masiva en la industria, representan una alternativa sin necesidad de realizar altas inversiones. Esta actividad aporta al valor agregado que puede tener un residuo vegetal, no solo en la generación de materiales amigables con el ambiente, sino que se convierte en una propuesta rentable para una empresa agroindustrial en términos económicos, social y ambiental para la construcción de una propuesta sostenible y sustentable.

3.3 Conclusiones

La discriminación de las variables para el uso del aglutinante estuvo basada en la cantidad de hidrosolubles contenidos en la muestra ya que la cantidad de almidón en las tres muestras no presentaron diferencia significativa entre ellas.

El arroz INIAP15 contiene mayor cantidad de sólidos hidrosolubles en la composición física del grano.

La prueba de tracción mostró como resultado que los aglomerados a base de banano en las dos composiciones presentan valores superiores frente a sus comparables.

La prueba de dureza superficial presenta resultados favorables para los materiales a base de fibra de coco.

La densidad tiene diferencia significativa entre los tratamientos y, mediante comparación de medias se estableció que los aglomerados compuestos de fibra de coco son más densos.

La fibra de caña de azúcar tiene propiedades inferiores en comparación a las fibras de coco y banano.

3.4 Referencias bibliográficas

- [1] Benavidez, R. A. (2006). *El Arroz su Cultivo Y Sustentabilidad En Entre Rios* (Vol. 2). Universidad Nac. del Litoral.
- [2] CINCAE (2013). *Caña de Azúcar: Cultivo para la sostenibilidad*. Recuperado de <http://cincae.org/cana-de-azucar-cultivo-para-la-sostenibilidad/>
- [3] Contreras W y M.de C. OWEN. 1997. Elaboración de un elemento estructural laminado, tipo parallam, con tiras de caña brava *Gynerium sagittatum* y adheivo fenol-formaldehído. *Revista Forestal Venezolana*. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela 41(1): 20-32.
- [4] Gasa, J., Castrillo C. (2002). *Criterios de utilización de subproductos agroindustriales en la alimentación de rumiantes*. Universidad de Zaragoza. Recuperado de http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1991_13.pdf
- [5] Larrahondo, J.,(1995). *Calidad de la caña de azúcar*. Cali, Colombia. CENICANA. Recuperado de: http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_serizados/libro_el_cultivo_canal/libro_p337-354.pdf
- [6] López, S. (2013). *Extracción de Almidon de Arroz a partir de Arroz de Rechazo Molido como Viscosante en la Elaboración de Cinco Cosméticos*. Guatemala.
- [7] Moreno, B. (2015) *Rendimientos de arroz en cáscara en el Ecuador, primer cuatrimestre del 2015*. Recuperado de: http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_arroz_2015.pdf
- [8] PROECUADOR (2016). *Banano y plátano*. Ecuador. Recuperado de <http://www.proecuador.gob.ec/compradores/oferta-exportable/banano/>
- [9] PROECUADOR (2015) *Guía logística internacional. Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones*. Quito. Ecuador
- [10] Saltos A. (2014) *Futuro prometedor para el coco* . Recuperado de: <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/304394-futuro-prometedor-para-el-coco/>
- [11] Southgate, D. A. (1991). *Determination of food carbohydrates*. ed. 2. Elsevier.