



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
DIRECCIÓN DE PROYECTOS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INTEGRACIÓN BOSQUE INDUSTRIA**

INFORME FINAL DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

**“Desarrollo y caracterización de tableros prensados a partir de residuos
lignocelulósicos de madera, piña y palma, combinado con empaque reciclado de
Tetrabrick”**

DOCUMENTO N° 2

Investigadora responsable:

Dr. Roger Moya Roque*
Ing. Diego Camacho Cornejo
Dra. Silvia Soto Córdoba
Dr. Julio Mata Segrega
Dr. Roy Soto Fallas
Msc. Marco Calvo Pineda

SETIEMBRE 2013

**Consejo Nacional de Rectores
Comisión de Vicerrectores de Investigación**

A. CONTENIDO BÁSICO DE LOS INFORMES DEL (LA) COORDINADOR(A) DE PROYECTOS

Los informes del (la) Coordinador(a) de proyectos deberán contemplar al menos los siguientes puntos:

1. Datos generales del proyecto:

1.1. Nombre del proyecto de investigación: “Desarrollo y caracterización de tableros prensados a partir de residuos lignocelulósicos de madera, piña y palma, combinado con empaque reciclado de Tetrabrick.”

1.2. Vigencia: 1 de enero del 2009 al 31 de diciembre 2011

1.3. Participantes

	Nombre completo Grado académico	Jornada (horas por semana)	Universidad
Responsable	Dr. Roger Moya Roque*	16	ITCR
Otros académicos (as), funcionarios (as) o estudiantes Participantes	Ing. Diego Camacho Cornejo	8	ITCR
	Dra. Silvia Soto Córdoba	4	ITCR
	Dr. Julio Mata Segrega	4	UCR
	Dr. Roy Soto Fallas	10	UNA
	Msc. Marco Calvo Pineda	5	UNA
Contrataciones estudiantes asistentes	Randall Smith	10	UCR
	Milena Jiménez Gutiérrez	10	UCR
	Ana Cristina Rivera	10	UCR
	Luis Mesen	10	UCR
	Hermes Alvarado	10	UCR
	Maricruz Saborío	10	UCR
	Diego González Ugalde	10	UNA
	Pablo Jiménez Bonilla	10	UNA
	Jean Jaén Jiménez	10	UNA
	Alex González Murillo	10	UNA
	Jorge Aguilar López	10	UNA
	Luis Andrés Monge	10	UNA
	Bernal Gómez Granados	10	ITCR
	Marta Sáenz Muñoz	10	ITCR
	Marcela Navarro	10	ITCR
Maureen Arguedas.	10	ITCR	
Arianne Gómez	10	ITCR	
Contrataciones Profesionales	Tec. Deiby Barrientos Chavarría	40	ITCR

1.4. Otras unidades participantes en el proyecto como apoyo al mismo y su respectiva institución

2. Información técnico –científica del Proyecto

Descripción del Proyecto: En la actualidad, las actividades agrícolas e industriales, además de generar bienes y servicios, se tiene el inconveniente que estos van acompañados por una gran cantidad de desechos propios de su procesamiento y utilización, cuya disposición se ha convertido en un serio problema tecnológico, ambiental, económico y social. En el caso de las actividades agrícolas generan desechos naturales, tal es el caso del bagazo de la caña de azúcar, el raquis del banano, el rastrojo o corona de la piña, el pinzote proveniente de los frutos de la palma aceitera, etc. Adicionalmente, los hábitos de consumo en la sociedad actual generan una serie de residuos. Una cantidad importante lo constituyen los materiales de empaque de artículos y alimentos de consumo diario (por ejemplo los envases TetraBrik® para lácteos y bebidas), cuya reutilización después de su uso primario, actualmente es muy limitada, con los consecuentes problemas ambientales al no darse un tratamiento adecuado a este tipo de desechos.

Debido a lo anterior, con el desarrollo de la investigación se demostró que es posible dar un aprovechamiento de los residuos mencionados anteriormente, como potencial fuente de materia prima para la elaboración de tableros prensados. Si estudio la compatibilidad física, química, mecánica y de mezcla de los materiales compuestos. Esto permitirá establecer un producto con potencial uso comercial en la industria de la construcción, mueblería, de embalaje y otros.

Luego de establecer la compatibilidad, de definir el tipo de granulometría, la humedad a la cual deben secarse los residuos, la cantidad de adhesivo agregar y establecer las condiciones de prensado, se establecieron para cada especie forestal las combinaciones necesarias para mezclar por separado cada tipo residuo, dado como resultado 15 diferentes formas de producir tableros aglomerados, los cuales se presentan en el siguiente esquema, que muestra las combinaciones que se deben usar para fabricar los tableros aglomerados.

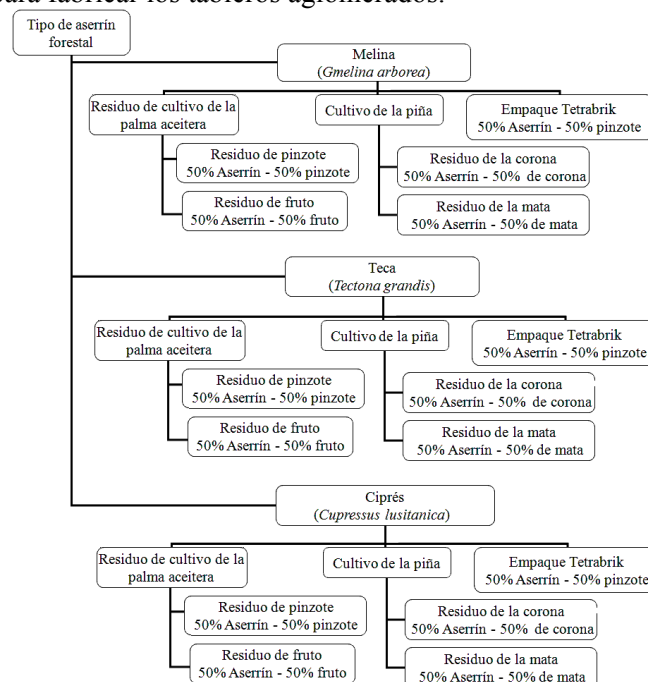


Figura 1. Combinaciones de residuos a utilizar para producir tableros aglomerados entre 3 especies forestales y diferentes tipos de residuos agrícolas y empaque TetraBrik®.

2.1 Metodología

En el desarrollo de la investigación el proceso seguido consistió en los siguientes pasos:

a) Recolección de material: Fueron colectados el aserrín de 3 especies forestales: melina, teca y ciprés, las cuales son especies con mayor volumen de madera que es procesada en Costa Rica, por lo que fueron consideradas para la fabricación de los tableros. *Empaques TetraBrik®* del centro de acopio en el poblado de Purisil en Orosí (Cartago) y estos consistieron en empaques

de leche, refresco y vinos (tipo TetraPak y Tetrabrik). *Desechos de la piña*: se extrajo de plantaciones de piña de las Zona Norte (San Carlos) y de la Zona Sur (Buenos Aires), utilizándose la corona y la mata (conocido popularmente como rastrojo). *Desechos de palma africana*: se coordinó con productores de palma aceitera de la Zona del Pacífico Central (Parrita y Quepos) la adquisición del pinzote a utilizar en los tableros.

b) Tratamientos: Una vez recolectados los residuos, se procedió al tratamiento de estos. En el caso del aserrín de las tres especies de madera, los residuos del procesamiento de la palma aceitera y de la cosecha de la piña se procedió a su secado hasta un contenido de humedad del 8%. En el caso de las cajas de *TetraBrik*® fueron solamente lavadas con el fin de eliminar la presencia de residuos o manchas.

c) Análisis de los residuos: Luego del secado, los diferentes tipos de residuos se caracterizaron anatómica, física y químicamente. En el caso de la parte anatómica, se procedió a hacer cortes histológicos y observarlos en el microscopio de luz, siguiendo los estándares tradicionales para este tipo de material. La caracterización física simplemente consistió en descripción como se presenta estos materiales en su aspecto morfológico. En la caracterización química se procedió a la determinación del contenido de humedad de las partículas, a cuantificar el porcentaje de celulosa, lignina, extraíbles y metales pesados presentes.

d) Formulación de la composición de las matrices o mezcla para los tableros: Inicialmente se procedió a establecer la mejor formulación posible para los diferentes tipos de tableros, para ello solamente se mezclaron dos tipos de residuos. Esto dos residuos se mezclaron en las relaciones siguientes: 50%aserrín-50%desecho, 30%aserrín-70%desecho, 10%aserrín-90%desecho, 0%aserrín-100%desecho y 100%aserrín-0%desecho. A su vez, para unir estos desechos se utilizó el adhesivo urea:formaldehído en los niveles de 6,8% y 10%. Esta combinación de especie de aserrín, tipo de residuo y cantidad de adhesivo generaron 135 combinaciones posibles para los diferentes tipos residuos. Para el establecimiento del mejor tipo de combinación fue utilizado el ensayo mecánico de cohesión interna de la norma ASTM D1037-99 (Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials).

e) Construcción de los tableros de partículas: de las anteriores combinaciones solamente fueron seleccionados 15 diferentes tipos de mezclas o matrices, las cuales están detallados en la Figura 1 previa. Con el material molido de cada uno de los residuos fueron fabricados 10 tableros con una dimensión de 300x300x12 mm, adecuado para obtener las muestras para posteriores ensayos físicos y mecánicos. Para ello se construyó una prensa de 60 x 60 cm de área y con capacidad de alcanzar una temperatura de 200 °C.

f) Evaluación física y mecánica de los tableros de partículas: los tableros fueron evaluados por la caracterización física-mecánica, comportamiento calórico, de durabilidad y trabajabilidad de los mismos. Para los ensayos físicos y mecánicos se aplicaron las normas ASTM 1037 (Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials), DIN 52 365 (Testing of wood chipboards, determination of tensile strength vertical to the chipboard plane) y EN 319 (Tableros de partículas y tableros de fibra. Resistencia a la tracción) que comprenden ensayos de tracción perpendicular a la superficie, flexión y dureza. Las pruebas de comportamiento calórico y resistencia al fuego se llevaron a cabo aplicando el método ASTM D-2015 (1995), y la determinación de la durabilidad de los paneles ante la degradación biológica de hongos se realizó de acuerdo con la norma ASTM D-2017-81 (1994) para ensayos acelerados de resistencia natural a la pudrición. En tanto que para las pruebas de trabajabilidad se aplicaron las normas utilizadas comúnmente para madera sólida indicadas en el estándar ASTM D-666-87.

2.2 Alcances en los objetivos y metas durante el desarrollo del proyecto:

Tabla 1: Objetivos, metas, actividades y porcentaje de avance del proyecto.

Objetivo	Productos	Resultados a la fecha
5.1.1) Establecer el procedimiento para el tratamiento y acondicionamiento del material de empaque TetraBrik®, obtenido y reciclado a partir de los desechos domiciliarios, institucionales o de otras procedencias, para su incorporación en la formulación de los tableros.	Procedimiento establecido para la limpieza y tratamiento de las cajas tipo TetraBrik®	100% -Se ha evaluado y caracterizado las propiedades fisico-mecánicas de TetraBrik®
5.1.2) Establecer el procedimiento para el tratamiento y acondicionamiento del material lignocelulósico residual proveniente cultivo de piña (rastrojo o corona), palma (pinzote) y forestal (aserrín y leña), para su incorporación en la formulación de los tableros.	Procedimiento establecido para la limpieza y tratamiento de las los diferentes tipo de partículas del material lignocelulósico	100% -Se ha evaluado y caracterizado la composición de las propiedades fisico-mecánicas de la corona de la piña y del pinzote de la palma africana.
5.1.3) Evaluar la compatibilidad fisicoquímica entre los materiales seleccionados, para la posterior formulación del material compuesto para el conformado de los tableros.	Tener cuantificado la compatibilidad química entre los diferentes tipos de materiales	100% -Se ha evaluado la compatibilidad de la combinación de la piña con la madera, el pinzote con la madera, faltando evaluar la compatibilidad del Tetrabrick con los diferentes materiales
5.1.4) Formular composiciones para el material compuesto por residuos de material de empaque TetraBrik® reciclado y los diferentes tipos de fibras lignocelulosicas provenientes de desechos de diferentes actividades agrícolas y forestales, aplicables en la producción de tableros prensados.	Formulación de tablero establecida y demostrado sus aceptables propiedades químicas y físicas	100% -Se ha evaluado la formulación de la composición de material Tetrabrick® reciclado con los diferentes residuos de madera.
5.1.5) Evaluar y seleccionar las mejores formulaciones ensayadas, de acuerdo con los resultados de las mediciones de sus propiedades fisico-mecánicas, de durabilidad y de trabajabilidad (canteado, moldurado, clavado, atornillado, escopleado, taladrado, permeabilidad al agua y lijado) y parámetros ambientales de los materiales formulados.	Tablero desarrollado y demostrado sus aceptables propiedades. Publicaciones preparadas para Revista.	100% -Se realizaron las pruebas correspondientes de trabajabilidad y de aplicación de acabados. En general en todas se presentó buenas condiciones, sin embargo solo la prueba de moldurado no fue la más satisfactoria.

Cont.....

5.1.6) Establecer usos potenciales para los tableros obtenidos con la(s) formulación(es) recomendada(s) por su mejor rendimiento en las evaluaciones realizadas.	Recomendaciones establecidas para uso como muebles, foros de paredes, y en algunos casos como aislantes acústicos. Prototipos de productos. En este sentido he han hecho deferentes presentaciones de los posible usos de los tableros.	100% -En este momento se ha construido una secadora portátil, la cual fue cubierta en su totalidad por paneles de tableros aglomerados de 60 x 60 cm.
--	---	---

2.3 Productos obtenidos hasta el período del informe, publicaciones (tesis, artículos, etc.), bases de datos, software, capacitaciones, etc.

2.3.1. Principales resultados

En el anexo 1, presenta una detallada descripción de los principales resultados obtenidos durante los 3 años de gestión del proyecto.

2.3.2 Artículos científicos:

Se han escrito hasta el momento un artículo científico que está en proceso de revisión, el cual se espera terminar de revisar e enviar a una revista indexada (Anexo 2).

2.3.3. Ponencias en congresos

1. Ponencia en el 10 Simposio Latinoamericano de Polímeros de la ponencia "Curvas de secado de biomasas de residuos agrícolas" de Roger Moya y Julio F. Mata Segreda, llevado a cabo por Escuela de Química Universidad de Costa Rica en Mayo de 2009
2. Ponencia en XIII Congreso Agropecuario y Forestal (CONAGROF): Caracterización anatómica y química de las hojas de piña y el pinzote de la palma aceitera para la fabricación de tableros de partículas para la fabricación de muebles, llevado a cabo en Julio de 2010 por el Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica.
3. Ponencia en I Congreso Primer Congreso Nacional sobre Fuentes Alternativas de Energía y Materiales "Dr. Adrián Chaverri Rodríguez": Desarrollo y caracterización de tableros prensados a partir de residuos lignocelulósicos de madera, piña y palma, combinado con empaque reciclado de Tetrabrick, llevado a cabo en por la Escuela de Química Universidad de Costa Rica entre el 21-23 de septiembre de 2011.
4. Ponencia en I Congreso Primer Congreso Nacional sobre Fuentes Alternativas de Energía y Materiales "Dr. Adrián Chaverri Rodríguez": Extracción de taninos de la corteza de once especies de árboles maderables de Costa Rica, y su evaluación como componentes de

resinas adhesivas para uso potencial en la fabricación de tableros prensados”, llevado a cabo en por la Escuela de Química Universidad de Costa Rica entre el 21-23 de septiembre de 2011.

2.3.4. Participación en eventos de extensión:

1. Exporegional Universitaria: Extensión y Acción Social de CONARE 2010, llevada a cabo 8-10 diciembre de 201 en la Ciudad de Golfito-Puntarenas. (Anexo 3)
2. Charla a la gerencia de PINDECO Del Monte el 17 de febrero de 2010
3. Charla en la Cámara Nacional de Exportadores de Piña (CANADEP) el 25 mayo de 2010
4. Charla en la Asociación de Ultrapez de Buenos Aires el 30 de septiembre de 2011
5. Charla a Productores de piña de la Pital el 3 noviembre de 2011
6. Feria Innovatec en el parque de Cartago el 4 de noviembre de 2011
7. Charla en la Asociación de Productores de Cariari el 7 diciembre de 2011



Capacitación del uso de las hojas de piña en Ultrapez de Buenos Aires

2.3.5 Reportajes en periódicos y medios de circulación nacional

1. Reportaje en el periódico de circulación nacional LA NACION en la Sección Aldea Global, el día 07 de julio de 2010. (Anexo 4)
2. Reportaje en Giros,
3. Reportaje en Informe 11, Las Noticias,
4. Reportaje para Canal 15, y hoy en el 7
5. Reportaje en Radio Monumental
6. Reportaje de Canal 7 para Telenoticias

2.4 Aportes a las capacidades académicas y estudiantiles.

Con el proyecto de investigación en general se logró una consolidación de un grupo de trabajo para el estudio de los materiales o materias primas de origen vegetal, tal como la producción de madera, palma aceitera y el cultivo de la piña. Un aspecto importante de destacar de este grupo es que existen diferentes puntos de vistas en cada una de las universidades, lo cual produce un importante abordaje de los problemas de una manera más integral. Por un lado, la UCR tomando su punto de vista científico, UNA su parte de formación social y el ITCR su punto de vista de ingeniería y producción.

El desarrollo de este proyecto, en el caso del ITCR, específicamente en la Escuela de Ingeniería Forestal, reorientará los proyectos de investigación en el tema de productos forestales. En la actualidad se está visualizando la producción forestal como una integración con otros cultivos que tienen en común la utilización de desechos lignocelulósicos.

Desde el punto de vista de la formación estudiantil se logró la participación de un grupo de estudiantes interesados en temas relacionados al aprovechamiento de desechos agroforestales o los empaques desechados en los centros urbanos. De hecho estos estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química de la UCR y de la Escuela de Ingeniería Forestal actualmente en sus proyectos de graduación están dando seguimientos a estos temas.

2.5 Resumen del impacto obtenido, capacidades creadas u objeto de estudio que ha logrado el proyecto hasta el momento.

Aunque en la actualidad no se han logrado encontrar una empresa productora de tableros, se está en coordinación con algunas empresas para los siguientes aspectos:

Maderas cultivadas de Costa Rica: en la actualidad se está en la implementación de una planta de aglomerados para producir tableros de melina. Actualmente se han presentados las pruebas para combinar el residuo de melina con los desechos de la piña, que es el tipo de residuo geográficamente más cercano a donde se instalará la planta.

En el caso específico de las cajas TetraBrik®, desde hace aproximadamente 1 año se planteó la posibilidad de hacer tableros sin necesidad de invertir mucha energía en la transformación de la caja, como lo es utilizar la caja sin necesidad de moler. Aunque estas pruebas son la mejor opción desde el punto de vista energético, por efecto que la caja está diseñada para contener líquidos de consumo humano, la empresa considera que la caja no fue diseñada para construir paneles de uso en construcción por lo que el aprovechamiento de la caja TetraBrik® debe ser únicamente molido para evitar problemas de marca.

Finalmente, se creó una infraestructura para el aprovechamiento de residuos agroforestales, en las universidades participantes, aspecto que en el pasado no se contaba. Estas capacidades no solo comprende aspectos de infraestructura, sino que también aspectos de recurso humano.

2.6 Un resumen sobre la forma en que el proyecto ha coadyuvado en el fortalecimiento del sistema interuniversitario

En el planteamiento inicial del proyecto de investigación fue relacionado con diferentes ejes y objetivos estratégicos establecidos por el Sistema de las Instituciones de Educación Superior Universitaria Estatal, y a continuación pasamos a detallar como ayudó el proyecto al fortalecimiento de estas acciones estratégicas:

Pertenencia e impacto: como hemos señalado existe una preocupación a nivel general sobre el aprovechamiento de los residuos que se producen en las actividades agroforestales y los desechos en las grandes ciudades. El desarrollo de este proyecto estaba orientado principalmente a estudiar y dar una posible solución a este problema. Aunque es mostrado técnicamente esta solución, la pertinencia e impacto de estos productos es de gran relevancia ya que logra dar una gran solución a la gestión de estos desechos. Esta solución está sustentada por un estudio sistemático y de vinculación entre las 3 universidades participantes con 3 sectores de la producción importantes: forestal, agrícola e urbano.

Ciencia y Tecnología: la innovación de productos “verdes” en la actualidad conlleva el desarrollo de un conocimiento científico importante, ya que se trata de conocer la compatibilidad química de diferentes tipos de materiales lignocelulósicos para la producción de un producto potencial de comercialización. Así como el desarrollo de un proceso posible de producción conlleva el desarrollo de la tecnología. Ambos aspectos están plenamente desarrollados en las universidades y por tanto en el fortalecimiento del sistema universitario de la educación en Costa Rica.

2.7 Aspectos por mejorar

Desde el punto de vista técnico, en el desarrollo del proyecto se observó un aspecto que no fue contemplado en la gestión del mismo, y fue el problema técnico del secado de los residuos de agroforestales. No obstante, con el fin de dar respuesta, a este problema se planteó un proyecto de investigación por parte de los integrantes de la ITCR a la Vicerrectoría de Investigación de esa universidad. El proyecto planteado se denomina: Balance energético en dos sistemas de secado de residuos ligno-celulósicos producidos en Costa Rica. Así mismo, fue encontrado que en el caso del aprovechamiento de la piña el secado es un aspecto que debe mejorar, por lo que se reorientó y se desarrolló un modelo para aprovechar el rastrojo de la piña para la producción de fibras.

2.8 Retos por alcanzar

Indudablemente el reto más importante desde este momento es lograr que una empresa o persona física se interese o asuma la producción de tableros aglomerados, situación que llevará probablemente varios meses. Así mismo otro importante reto es lograr establecer un sistema de secado eficiente para los desechos, y dentro de ellos el residuo con mayor

problema es el rastrojo de piña, que es el residuo sobre el cual se debe investigar más sobre su secado.

2.9. Monto otorgado por el Fondo del Sistema, desglosado por institución que lo administra (CONARE, UCR, ITCR, UNA y UNED), especificando además las contrapartidas en caso de que existan y el porcentaje de ejecución por cada institución.

		Remuneraciones	Servicios	Materiales y suministros	Bienes duraderos	Transferencias corrientes	Total
ITCR 2009	Monto disponible	5416409,00	927500,00	1476516,00	6927500,00	0,00	14747925,0
	Monto ejecutado	3096658,84	855546,00	1143243,24	6670834,20	0,00	11766282,3
	% Ejecutado	57,17	92,24	77,42	96,29	0,00	79,8
ITCR 2010	Monto disponible	0,00	3090000,00	1721398,11	350000,00	0,00	5161398,1
	Monto ejecutado	0,00	2688112,21	1588465,64	276402,00	0,00	4552979,9
	% Ejecutado	0,00	88,18	94,21	78,97	0,00	88,2
ITCR 2011	Monto disponible	6100510,00	2950000,00	1650000,00	0,00	0,00	10700510,0
	Monto ejecutado	4548257,56	2378295,40	987897,27	0,00	0,00	7914450,2
	% Ejecutado	74,55	81,02	59,97	0,00	0,00	74,0
Total ITCR	Monto disponible	11516919,00	6967500,00	4847914,11	7277500,00	0,00	30609833,1
	Monto ejecutado	7644916,40	5921953,61	3719606,15	6947236,20	0,00	24233712,4
	% Ejecutado	66,38	84,99	76,73	95,46	0,00	79,2
UCR 2009	Monto disponible	0,00	552500,00	2902280,00	1402500,00	712720,00	5570000,0
	Monto ejecutado	0,00	552500,00	1585887,90	77500,00	420711,75	2636599,7
	% Ejecutado	0,00	100,00	54,64	5,53	59,03	47,3
UCR 2010	Monto disponible	0,00	2625000,00	2825000,00	0,00	1000000,00	6450000,0
	Monto ejecutado	0,00	1897000,00	2363515,47	0,00	955641,95	5216157,4
	% Ejecutado	0,00	72,27	83,66	0,00	95,56	80,9
UCR 2011	Monto disponible	0,00	2100000,00	2380140,00	500000,00	1000000,00	5980140,0
	Monto ejecutado	0,00	830220	1651987,75	452775,95	899530,3	3834514,0
	% Ejecutado	0,00	39,53428571	69,40716723	90,55519	89,95303	64,1
Total UCR	Monto disponible	0,00	5277500,00	8107420,00	1902500,00	2712720,00	18000140,0
	Monto ejecutado	0,00	3279720,00	5601391,12	530275,95	2275884,00	11687271,1
	% Ejecutado	0,00	62,15	69,09	27,87	0,00	64,9

Continuación

		Remuneraciones	Servicios	Materiales y suministros	Bienes duraderos	Transferencias corrientes	Total
UNA 2009	Monto disponible	2628616,28	875540,00	1197789,53	2711598,19	151668,50	7565212,5
	Monto ejecutado	1669149,05	575540,00	1127102,47	2711598,19	32009,33	6115399,0
	% Ejecutado	63,50	65,74	94,10	100,00	21,10	80,8
UNA 2010	Monto disponible	0,00	3318566,52	2094855,64	5278064,46	0,00	10691486,6
	Monto ejecutado	0,00	3269815,52	2057544,18	5278064,02	0,00	10605423,7
	% Ejecutado	0,00	98,53	98,22	100,00	0,00	99,2
UNA 2011	Monto disponible	0,00	514060,00	2211268,00	7629922,00	1495000,00	11850250,0
	Monto ejecutado	0,00	513260,00	2188812,08	7388431,18	1494400,00	11584903,3
	% Ejecutado	0,00	99,84	98,98	96,83	99,96	97,8
Total UNA	Monto disponible	2628616,28	4708166,52	5503913,17	15619584,65	1646668,50	30106949,1
	Monto ejecutado	1669149,05	4358615,52	5373458,73	15378093,39	1526409,33	28305726,0
	% Ejecutado	63,50	92,58	97,63	98,45	0,00	94,0
TOTAL	Monto disponible	14145535,3	16953166,5	18459247,28	24799584,65	4359388,50	78716922,2
	Monto ejecutado	9314065,45	13560289,1	14694456,00	22855605,54	3802293,33	64226709,5
	% Ejecutado	65,84	79,99	79,60	92,16	0,00	81,6

Anexo 1. Principales resultados

1. Procedimiento de elaboración de tableros

La figura 1 presenta en un esquema resumido el proceso que se debe seguir para llevar a cabo la fabricación de los tableros utilizando el aserrín de las principales especies forestales plantadas en Costa Rica y la mezcla con 2 diferentes tipos de residuos agrícolas y las cajas TetraBrik® para la comercialización de leche y bebidas. En este esquema es de observar que hasta el tamizado de las partículas de los diferentes desechos los residuos son procesados en forma separada, pero luego se esa etapa los residuos se juntan para conformar el tablero.

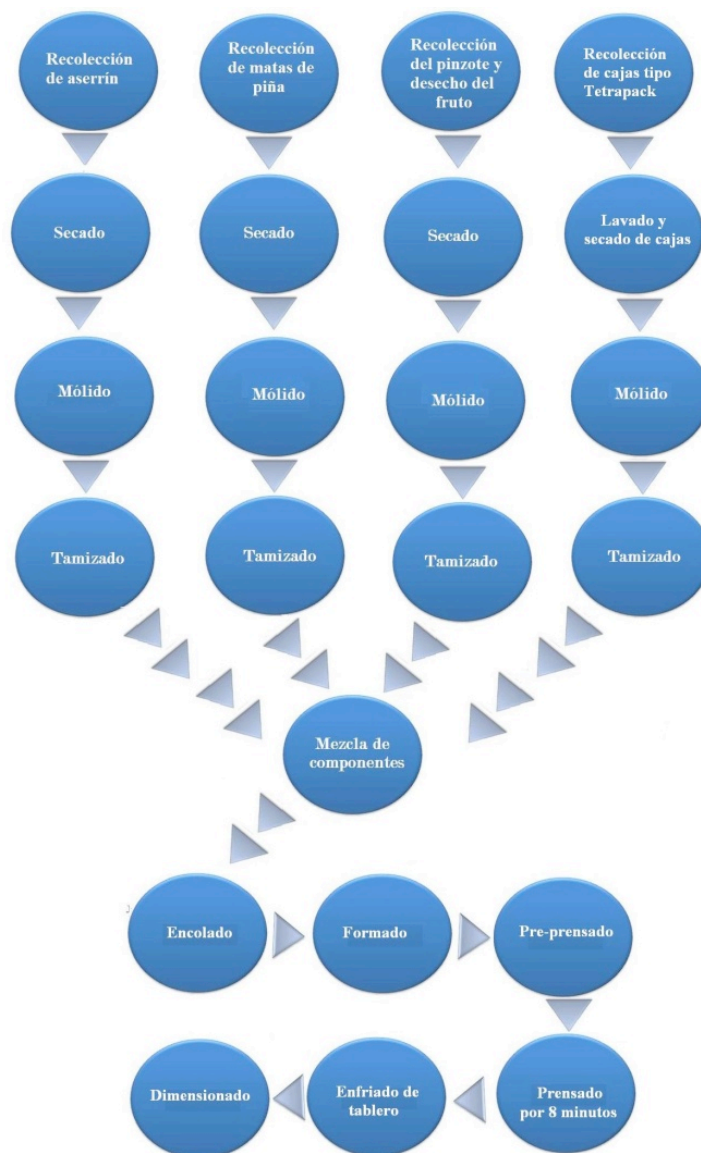


Figura 1. Esquema de fabricación de tableros aglomerados entre aserrín de las principales especies de reforestación en Costa Rica y 3 tipos de residuos proveniente de desechos agrícolas y cajas TetraBrik® para la comercialización de leche y refrescos.

El proceso anteriormente mencionado es representado gráficamente en el siguiente proceso, donde la etapa 1 los residuos son colectados, secados, molidos, mezclados, formado, prensado y curado final del tablero.



Figura 2. Esquema de fabricación del tablero de entre aserrín de las principales especies de reforestación en Costa Rica y 3 tipos de residuos proveniente de desechos agrícolas y cajas TetraBrik® para la comercialización de leche y refrescos

2. Selección de las mezclas de residuos para la elaboración de tableros.

2.1. Compatibilidad de los diferentes tipos de residuos.

La compatibilidad de los diferentes tipos de residuos fueron analizados a través de los diferentes tipos de extraíbles presente en la madera, los cuales consistió de extraíbles en: (i) agua fría, (ii) agua caliente, (iii) solución etanol-tolueno, en proporciones de 1000 ml de etanol y 427 ml de tolueno, (iv) solución en hidróxido de sodio al 1% y (v) en diclorometano. Luego de este análisis se encontró que: los componentes no-orgánicos, evaluados en medios acuosos (Figura 3a), la mata de piña es químicamente diferentes a la componentes químicos de las 3 tipos de maderas analizadas, siendo químicamente muy parecido a las maderas el tetrabrik y el pinzote de la palma aceitera. En tanto que cuando se evalúa la compatibilidad química orgánica los residuos de la palma aceitera son muy diferentes al resto de los residuos, probablemente influenciado por el residuo de aceite presente en el.

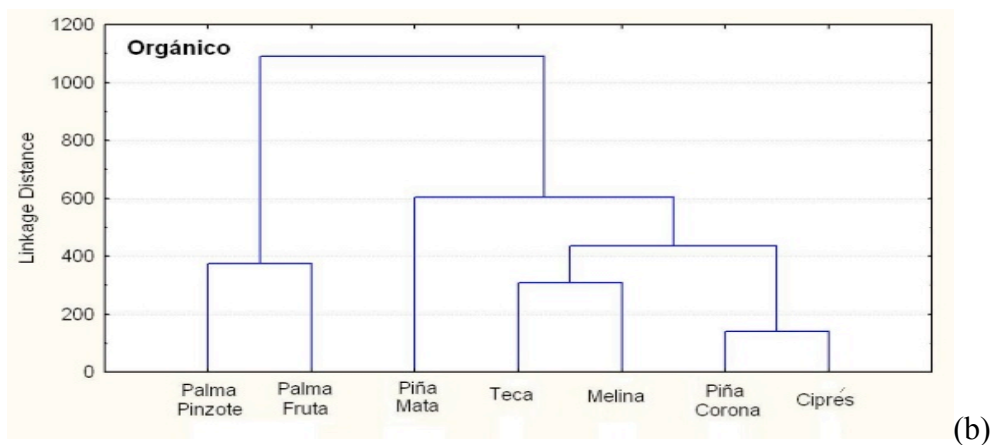
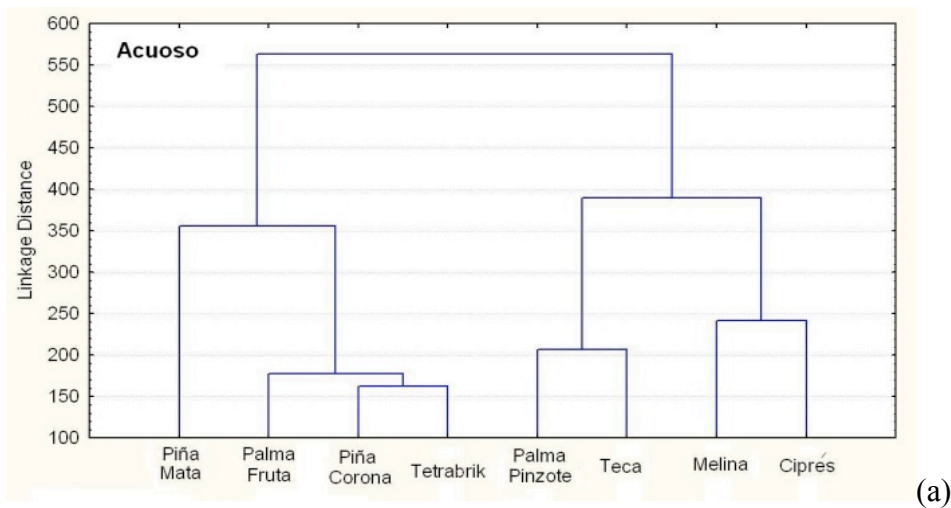


Figura 3. Compatibilidad química entre los diferentes tipos de residuos utilizados

2.2. Selección de las diferentes mezclas

Los tratamientos seleccionados corresponden a las mezclas hechas con base a tres especies de madera: ciprés, teca y melina; combinadas con piña (corona y mata), palma aceitera (fruto y pinzote) y TetraBrik®. La selección del mejor tratamiento corresponde a una combinación de dos tipos de residuos (siempre una madera y un tipo de residuo) y un adhesivo. El detalle del tratamiento mejor seleccionado se encuentra detallado en Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos seleccionados para evaluación de la mezclas de los residuos.

Tratamiento	Mezcla	Proporción	Encolante (%)
1	Ciprés-corona	50-50	6
2	Ciprés-mata	50-50	6
3	Ciprés-fruto	50-50	8
4	Ciprés-pinzote	50-50	8
5	Ciprés-TetraBrik®	50-50	8
6	Teca-corona	50-50	8
7	Teca-mata	50-50	8
8	Teca-fruto	50-50	8
9	Teca-pinzote	50-50	8
10	Teca-TetraBrik®	50-50	8
11	Melina-corona	50-50	8
12	Melina-mata	50-50	6
13	Melina-fruto	50-50	8
14	Melina-pinzote	50-50	8
15	Melina-TetraBrik®	50-50	8

3. Evaluación física y mecánica de los tableros de partículas:

Los tableros fueron evaluados por la caracterización física-mecánica, comportamiento calórico, de durabilidad y trabajabilidad de los mismos. Los resultados obtenidos en las propiedades físicas y mecánicas son detallados en los siguientes cuadros:

Cuadro 2. Propiedades físicas (densidad, PE, CH, absorción de agua, hinchamiento)

Tratamiento		Densidad (g/cm ³)	Peso específico (g/cm ³)	C. H. (%)	Absorción de agua (%)	Hinchamiento (%)
Número	Mezcla	μ Cv	μ Cv	μ Cv	μ Cv	μ Cv
1	Ciprés-Corona 50/50 6%	0.68 (7.90)	0.61 (8.31)	11.70 (4.78)	130.50 (9.36)	59.47 (14.83)
2	Ciprés-Mata 50/50 6%	0.70 (5.56)	0.63 (5.90)	11.40 (5.39)	111.24 (14.69)	47.07 (26.34)
3	Ciprés-Fruto 50/50 8%	0.62 (2.92)	0.56 (3.05)	11.26 (2.11)	124.55 (7.37)	39.10 (25.99)
4	Ciprés-Pinzote 50/50 8%	0.63 (7.38)	0.56 (7.63)	12.39 (2.54)	135.77 (14.24)	58.90 (21.54)
5	Ciprés-tetrabrik 50/50 8%	0.64 (5.13)	0.58 (5.17)	9.84 (1.72)	80.18 (7.41)	24.66 (9.67)
6	Teca-Corona 50/50 8%	0.68 (4.51)	0.61 (4.69)	11.85 (2.18)	153.40 (14.14)	66.55 (18.80)
7	Teca-Mata 50/50 8%	0.68 (3.70)	0.62 (3.67)	10.60 (4.61)	108.94 (11.02)	45.69 (15.95)
8	Teca-Fruto 50/50 8%	0.64 (6.54)	0.57 (6.51)	11.36 (1.63)	99.96 (7.20)	32.85 (19.62)
9	Teca-Pinzote 50/50 8%	0.66 (8.46)	0.59 (8.50)	11.35 (1.90)	105.33 (12.25)	41.60 (15.08)
10	Teca-Tetrabrik 50/50 8%	0.66 (5.36)	0.60 (5.50)	9.05 (1.93)	87.42 (9.39)	24.39 (10.62)
11	Melina-Corona 50/50 8%	0.68 (4.12)	0.62 (3.98)	9.68 (32.60)	170.85 (12.32)	90.42 (20.16)
12	Melina-Mata 50/50 6%	0.68 (5.52)	0.61 (5.99)	11.40 (10.56)	146.51 (9.16)	75.07 (15.89)
13	Melina-Fruto 50/50 8%	0.65 (6.92)	0.58 (6.75)	11.38 (3.08)	133.67 (9.05)	58.71 (20.16)
14	Melina-Pinzote 50/50 8%	0.65 (4.38)	0.59 (4.49)	11.38 (1.89)	143.91 (6.00)	93.06 (80.76)
15	Melina-Tetrabrik 50/50 8%	0.70 (4.99)	0.64 (5.27)	8.93 (4.50)	79.49 (12.94)	30.85 (19.78)

Cuadro 3. valores de propiedades mecánicas obtenidas en los diferentes tipos de tableros

Tratamiento		Carga al L. P. (kg)	Deflexión L. P. (cm)	Carga máxima (kg)	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (kg/cm ²)
Número	Mezcla	μ Cv	μ Cv	μ Cv	μ Cv	μ Cv
1	Ciprés-Corona 50/50 6%	4.37 (57.98)	0.23 (45.77)	5.85 (53.04)	9354.40 (48.02)	23.12 (54.29)
2	Ciprés-Mata 50/50 6%	8.06 (46.86)	0.29 (47.28)	11.20 (36.73)	20689.89 (157.70)	42.50 (39.72)
3	Ciprés-Fruto 50/50 8%	7.95 (25.77)	0.35 (24.24)	12.52 (35.75)	8917.73 (23.99)	43.84 (35.92)
4	Ciprés-Pinzote 50/50 8%	13.01 (33.04)	0.51 (98.75)	17.56 (35.01)	11244.94 (45.00)	56.61 (40.76)
5	Ciprés-tetrabrik 50/50 8%	9.93 (32.33)	0.89 (87.21)	13.61 (28.11)	8936.49 (79.39)	53.30 (28.39)
6	Teca-Corona 50/50 8%	2.04 (46.68)	0.24 (55.30)	3.35 (47.20)	23142.58 (251.23)	13.00 (46.63)
7	Teca-Mata 50/50 8%	3.10 (40.85)	0.30 (50.67)	4.37 (24.56)	4991.74 (55.46)	16.22 (36.25)
8	Teca-Fruto 50/50 8%	4.66 (44.00)	0.38 (33.39)	7.60 (31.81)	5546.88 (45.16)	28.97 (32.81)
9	Teca-Pinzote 50/50 8%	5.99 (32.98)	0.29 (15.95)	11.66 (30.79)	9825.85 (38.54)	47.13 (41.09)
10	Teca-Tetrabrik 50/50 8%	3.74 (37.42)	0.47 (111.91)	5.95 (28.29)	5402.91 (45.50)	23.31 (29.01)
11	Melina-Corona 50/50 8%	7.56 (88.26)	0.23 (38.11)	7.37 (33.21)	9216.02 (32.85)	25.54 (34.04)
12	Melina-Mata 50/50 6%	3.64 (36.85)	0.25 (47.74)	5.34 (50.58)	7069.90 (65.67)	18.70 (50.37)
13	Melina-Fruto 50/50 8%	4.71 (25.19)	0.62 (90.60)	7.42 (35.96)	4336.26 (59.39)	25.28 (40.69)
14	Melina-Pinzote 50/50 8%	9.25 (30.47)	0.34 (24.55)	13.07 (19.64)	10425.66 (17.05)	45.47 (17.70)
15	Melina-Tetrabrik 50/50 8%	10.33 (41.89)	0.42 (95.60)	13.87 (43.94)	13617.41 (49.20)	52.37 (44.82)

4. Desempeño en pruebas de trabajabilidad

La evaluación en las pruebas de trabajabilidad mostró que presenta buen desempeño los tableros fabricados. La siguiente figura muestra la secuencia de operaciones básicas de trabajabilidad que son aplicados a la madera solidad:



Figura 4. Operación de moldurado en tablero hecho de madera de melina y las hojas de piña.



Figura 5. Operación de taladrado en tableros aglomerados de residuos agroforestales. Se muestra la calidad del orificio en un tablero con componente tetrabrik y el otro con componente de piña.

5. Diseño de prototipos



Figura 5. Diseño de juguetes para niños elaborados con material de tetrabrik y aserrín de madera de melina

Figura 6. Tablero usado en foros para paredes

Anexo 2. Artículo preparado para enviar a revista Indexada

**Anatomical comparation between bunch and fruit of oil palm with pineapple leaf and wood
from fast growth plantation in Costa Rica**

RÓGER MOYA*

Escuela de Ingeniería Forestal,
Instituto Tecnológico de Costa Rica
CIIBI, Apartado 159-7050,
Cartago, COSTA RICA.

FREDDY MUÑOZ

Escuela de Ingeniería Forestal,
Instituto Tecnológico de Costa Rica
CIIBI, Apartado 159-7050,
Cartago, COSTA RICA

JULIO MATA S.

Laboratorio de Química Biorgánica
Escuela de Química, Facultad de Ciencias
Universidad de Costa Rica,
San José, COSTA RICA.

ROY SOTO F

Laboratorio de Productos Naturales y Ensayos Biologicos
Escuela de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional. Apartado
86-3000
Heredia-COSTA RICA.

*Authors correspondence, Email: rmoya@itcr.ac.cr

Anatomical comparison between bunch and fruit of oil palm with pineapple leaf and wood from fast growth plantation in Costa Rica

Summary

Elaeis guineensis, *Ananas comusus* and forest plantations are planted widely in Costa Rica; however their waste is not utilized. Main objective in this work is anatomical description of the empty fruit and fruit of oil palm and of leaves from crown and plant of pineapple. Also fiber dimensions of these agricultural crops were compared with 3 main timber species planted. Pineapple leaf anatomy is different than fruit and bunch of oil palm fruit. And both of them are different than wood anatomy. The main differences are fiber bundles and vascular strand. Fiber dimensions and anatomical distribution of vascular strand are different between pineapple and oil plant. Large quantities of vascular strand are found in the oil plant bunch, but the frequency of vascular strand is similar in oil palm fruit. Other differences are the parenchyma abundance and silica abundance. Large proportion of parenchyma is found pineapple leaf in relations to bunch of fruit of oil palm and wood. Fiber dimensions of pineapple are very different than oil palm (fruit and bunch) and wood fibers. The oil palm and wood present shorter fiber and wider diameter and thicker wall than pineapple leaf. Woody fibers present similar fiber dimensions than fruit and bunch of oil palm fruit.

Keyword: fiber dimensions, tropical species, biofiber, cell structure

1. Introduction

Costa Rica es un pequeño país de América Central con un clima tropical envidiable ya que es posible plantar muchos cultivos (García, 1998), tanto en cultivos puros como combinaciones muy exitosas como café y arboles maderables para lograr la mayor producción posible (GFA Consulting Group, 2010). Se establece que en el país hay en producción 40 mil hectáreas de piña, ha de palma aceitera, 40 mil en plantaciones con fines maderables, caña, azúcar entre otros cultivos, cifras consideras muy altas en relación al 45% de su territorio que protegido (GFA Consulting Group, 2010)

En este pequeño país a estos cultivos agrícolas se le han señalado diferentes tipos de problemas, entre los que destaca:

1. Los cultivos por lo general son segregados en muchos productores y repartidos a todo lo largo y ancho del país (Bertsch, 2006) por lo que la estructura de cosecha o el transporte del material (productos o desechos) al centro de acopia es complejo, aunado a la mala infraestructura de camino del país que aumenta los costos de cosecho (GFA Consulting Group, 2010).
2. Los residuos luego de la cosecha, a excepción de la caña de azúcar, no son utilizados en la actualidad, por lo su depósito o eliminación es un problema (Acuña, 2009).

Algunos cultivos, como el caso de la piña, se le han señalado grandes problemas ambientales, principalmente durante el periodo de crecimiento de la planta y por otro al periodo post-cosecha, en las cuales son aplicados una serie de químicos para obtener la máxima producción o bien para eliminar la planta del sitio y volver a plantar de nuevo el cultivo, por lo que este cultivo deja una gran huella ecológica (Kissinger and Rees, 2010).

Estos tres problemas anteriormente señalados, y en el caso específico de los residuos de los procesos de aprovechamiento (mata de piña) y el procesamiento de los cultivos en centro de acopia

(palma aceitera y plantaciones forestales) se establece que para la condición de Costa Rica la solución del país debe estar orientada unir los diferentes residuos en un solo tipo de industria o un solo producto (Acuña, 2009). En este sentido 3 tipos de cultivos convergen en regiones de Costa Rica. Los centros de procesamiento de la madera (aserraderos) se ubican en todas las regiones del país (Barrantes et al., 2010); la palma aceitera presenta dos focos de desarrollo, el Pacífico sur y Pacífico central de Costa Rica y el cultivo de la piña, plantadas en la región del Atlántico, Zona Norte y Pacífico sur (GFA Consulting Group, 2009). Esta convergencia en las zonas de Costa Rica es considerada una opción atractiva para combinar los desechos de aserraderos, de la producción de la piña y el procesamiento del fruto de la palma aceitera.

No obstante, a pesar de que estos cultivos son materiales lignocelulósicos, su estructura anatómica y química son diferentes entre ellos, haciendo en muchos casos poco compatibles. La madera es un material compuesto en sobre 90% por fibras (Bowyer et al., 2007), el palma aceitera (tronco y fruto) es compuesto por gran cantidad de ejes vasculares (Weiner and Liese, 1990) y la mata de la piña por bundles inmersos en un tejido parenquimatoso (Bismarck et al., 2005).

Los tableros aglomerados en el pasado fueron tradicionalmente fabricados principalmente de residuos de madera, no obstante en los últimos 20 años se han introducido una gran gama de materias primas de tipo lignocelulósico para la producción de estos materiales (James, 2010). La utilización del residuo agrícola en estado puro o bien la combinación de residuos de madera con otros materiales han mostrado que los tableros aglomerados presentan excelentes propiedades físicas y mecánicas de los tableros (Hashim et al., 2010; Onuorah, 2005).

Por otro lado, la anatomía de la madera es quizás de los materiales lignocelulósicos más estudiado anatómicamente con fines de producción de productos (Bowyer et al., 2007). La palma aceitera en general se ha estudiado (Juliano, 1926, Roberson, 1977), sin embargo gran cantidad de esta investigación se encuentra orientado al estudio de la anatomía del fuste, dejando de lado la anatomía del fruto y el pinzote. Este material proveniente del fruto presenta la ventaja que está centralizado en un centro de acopia y es más fácilmente de aprovechar posteriormente. En la mata de la piña hasta aunque se conoce bien su anatomía (Py et al., 1987), pero está orientada la descripción anatómica se orienta al desarrollo de los tejidos durante el crecimiento y no para un aprovechamiento industrial de su hojas, como sucede en el caso de la madera.

En el presente tiene como objetivo de hacer una descripción anatómica del pinzote y frutos de *Elaeis guineensis*, las hojas de la mata y la corona de Ananas y así como su comparación entre las diferentes partes estudiadas y luego una comparación de la longitud de las fibras de estos materiales con la madera de las 3 principales especies maderables utilizadas en la reforestación comercial de Costa Rica (*Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Cupressus lusitanica*). Dicha información incrementará el conocimiento de la compatibilidad anatómica de los diferentes materiales para posteriormente utilizarlos en un producto comerciable.

2. Material and Methods

Material: Pineapple plants with fruit were obtained from two cropping pineapple plantation in two different productions in Costa Rica: one plantation was located in a Caribbean coast region of Costa Rica, with a tropical humid climate; the second plantation was located in a tropical dry climate zone in central Pacific coast of Costa Rica. Oil palm fruit were collected in two cropping palm plantation in two different production region in Costa Rica: one plantation in Pacific Coast South and others one in Pacific Central part of Costa Rica. Wood samples of *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* and

Cupressus lusitanica were collected from mature plantation in Costa Rica. These plantation were sampled for wood characterization from plantation (Moya and Muñoz, 2010)

Sampled: 2 pineapple plants were divided in two parts: leaf from plant and leaf from crown and two leaves were sampled in each part (Figure 1a). Cross-sections with 12-15 μm thick were obtained in middle part of each leaf (4 samples). Two oil palm fruit was separated in samples from bunch and from fruit bunch set (Figure 1b). Then two samples from bunch and two samples fruit bunch set were utilized in the present study. 12-15 μm thick cross-section were cut in these position. Smaller piece sizing 10 cm in length were extracted too from each position of pineapple leaf and oil palm fruit for macerated materials. And finally, small samples from average diameter breast height were extracted from trees of three plantation species for macerated wood (Moya and Muñoz, 2010).

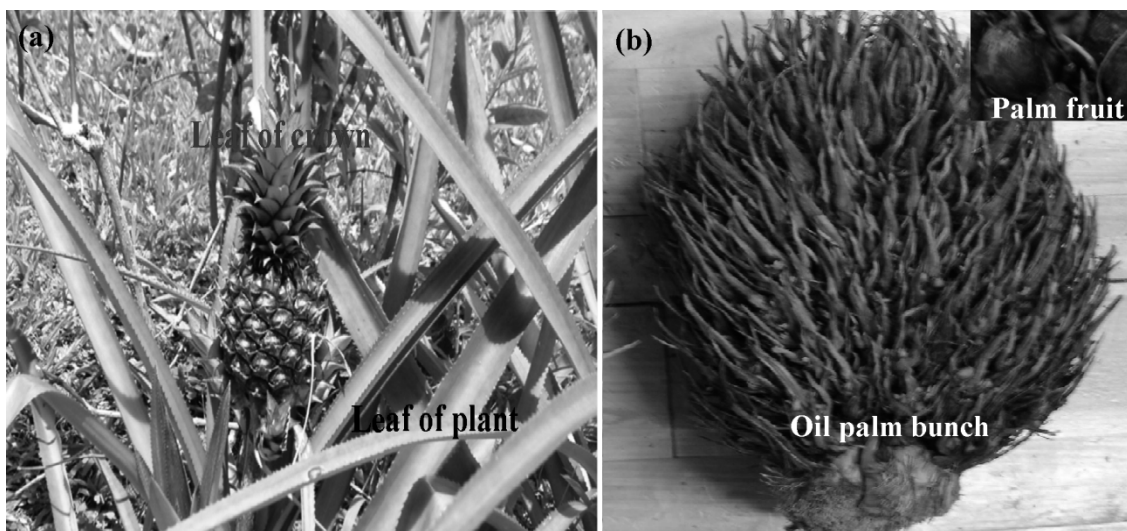


Figure 1. Different part of plant pineapple and oil palm fruit studied.

Permanent slides and macerated material preparation: customary methods of microtomy were followed. Using Franklin's method, macerations were prepared using glacial acetic acid and hydrogen peroxide (1:1 v/v) for determining the fiber dimension (Ruzin 1999). Permanent slides of bunch and fruit of oil palm fruit were prepared following the methodology proposed by Johansen and Sass. Cross-sections were stained with safranin and glued using gelatin Canadian-balsam (Ruzin 1999). Pineapple cross-sections were prepared methodology proposed by Jerson. It summarized by: wash leaf with by FAA solution (formaldehyde, acetic acid, alcohol and water), dehydration with alcohol sequential (30, stain with safranin, 50, 70, 90 and 100%) afterwards inclusion paraffin by following: Ethanol: Xilol by 12 hrs, 2 part Xilol: 1 part of paraffin 2 by 12 hrs, 1 part Xilol: 1 part of paraffin by 12 hrs, 1 part Xilol: 2 part of paraffin by 12 hrs and 0 part Xilol: 1 part of paraffin by 24 hrs.

Fibers dimension measuring: five replicas macerated and stained with safrani were madder to measure fiber dimensions. A digital camera on an optical microscope was used to photograph anatomical features. Fifty fibers (tem fibers per replicas) were measured for each anatomical feature: length, fiber diameter, lumen diameter and cell wall thick. A magnification 250X for length and 1000X for fiber diameter, lumen diameter and cell wall thick were used.

Statistic Analysis: The normality and the presence of extreme data or outliers were verified for each fibers dimension. A general statistical description (average and variation coefficient) was performed for the different variables. An analysis of variance (ANOVA) was used to test differences among fibers dimension of lignocelluloses types. Mean differences were evaluated using Tukey test ($P < 0.01$). Statistical SAS program were used to evaluate the meaning of the Anova model.

3. Observations

3.1. Anatomical description for oil palm fruit

Oil palm bunch: the anatomical description was carry out in pericarp zone, the seed was not done because was difficult to obtain cross-section. The pericarp is divided in two parts: the outer part of fruit and it calls epicarp o hipocarp and mesocarp zone is a major volume, ground tissue and the most commercial (Figure 2a). Two parts is formed in the epicarp: the outer part, called *external hipodermis*, is formed by 1-4 papillate cells. The cells presents rectangular and square shape and cell wall with thin thick (Figure 2a) and tanniferous cannals were observed in some part of fruit (Figure 2b). And the inner part, called *subyacent hipodermis*, is well defined and formed by 1-5 papillate cells, rectangular and square shape cells and oriented in a tangential pattern throughout the mesocarp. The cell wall is lightly defined with filled tanniferous substances (Figure 2a). The mesocarp zone is composed by following anatomical elements: (1) parenchymatous ground tissues are a major proportions of transversal sections, its diameter is irregular and its wall are thin (Figure 2b), (2) bund fibers (Figure 2c) are rounded and endorsed shape with poor lignified cell wall. They are distributed in the inner of mesocarp and altering with fibrovascular strand with raphide sacs. (3) fibrovascular strand (Figure 2c) are rounded and endorsed shape in transversal sections and is formed by vascular tissue (conduction function) associated with stegmatiferous massive sheath of lignified fibers, which poor lignified cell wall and concentric distribution. Fibrovascular sheath in the outer are tangentially extended and marginally fused to form a sclerotic cylinder. In addition to the inner mesocarp, the fibrovascular bundles are also seen distributed along with fiber and concentric vascular bundles and raphide sacs in the massive outer mesocarp. (4) Rapfide sacs (Figure 2d) are thin walled and rarely distributed along with bundles fibers and fibrovascular strand. They were observed in the outer mesocarp, but they did not observe in the inner mesocarp. They are large, numerous and form conspicuous features of mesocarp. (5) Tanniferous cells (Figure 2b) are distributed in the outer mesocarp and they are abundant next to epidermis. They are round and variable diameter and they can be confused with bund fibers.

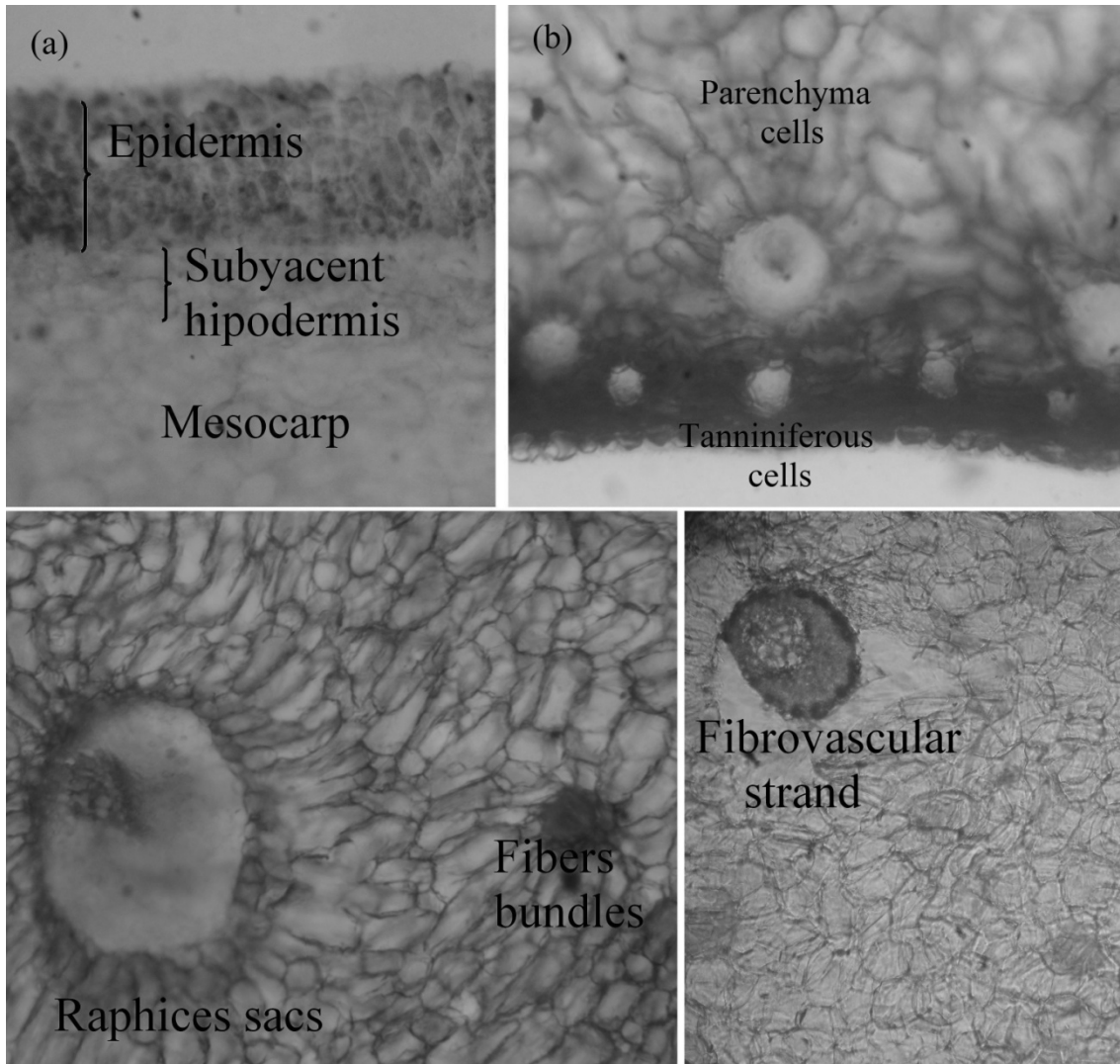


Figure 2. Cross section of oil palm bunch of *Elaeis guineensis*. Different part of the inner of epidermis (a), tanniferous cell and parenchyma cells in the epidermis (b), fibers bundles and raphices sacs (c) and shape of fibrovascular strand (d).

Palm empty fruit: the anatomical structure of central part of oil palm empty fruit, as expect, is typical to monocotyledons tissue. The epidermis is formed by 1-2 layers of rectangular and square cells. Cortex zone is located inner of epidermis and is formed by parenchymatous cells and bundles fibers with lower diameter, alignment tangentially extended and the diameter increases in the inner direction (Figure 3a). Following, in the interior of cortex, diffuse Vascular strands begins to be seen, it contains poor-defined protoxilem and protofloem (Figure 3b). Vascular strands increases their abundance in the core, 1-2 layers of medullar parenchyma are present among two vascular strands (Figure 3d). They are around shape when the frequency is lower, but a increasing of abundance produce strands with oval shape (Figure 3c). A vascular strand is formed by metaxylem, metafloem and round fibers sheath (Figure 3d). Diffuse sieve tubes are located in metafloem tissue and two vessels are located in metaxylem. However one or three vessels can be observed in some vascular strands.

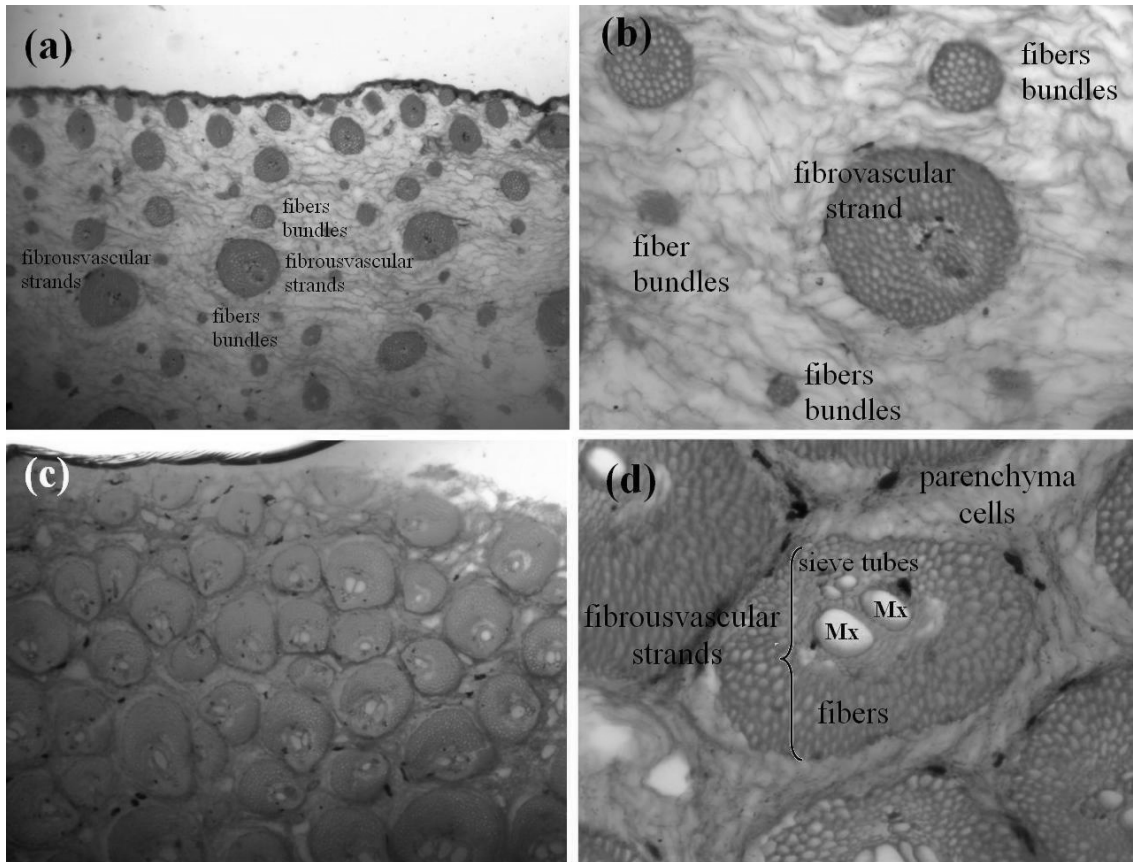


Figure 2. Cross-section of empty fruit of *Elaeis guineensis* in the inner of epidermis (a), fiber and fibrovascular in the epidermis zone (b), cross-section of vascular fibrous vascular strands (c) and anatomical element of vascular strands (d).

3.2. Pineapple plant

Leaf of crown: there is variation of wood anatomy along leaf length. The basal zone of the leaf is formed by epidermis zone covered by 1-2 layers cells with poor-defined lignified wall in top part of leaf, while 3-5 layers cells were observed in the bottom part (Figure 4a). In the basal of leaf, the epidermis located in the upper part is formed by 2-3 layers cells with elliptical or polygonal shape and thin-walled cells (Figure 4b). On the contrary, epidermis located in bottom part was observed that cells are elongated columnar or tapered shape radially oriented. The cells of epidermis are covered with a thick cuticle, which contain silica bodies (Figure 5c). Chemical analysis showed that they were oxalate aluminum. Ground parenchyma cells with thin walls and rounded shape was observed within the upper epidermis (Figure 4b). And palaside parenchymas with small diameter are observed in inside bottom epidermis, but mesophilum spongy lightly circular, slightly thick-walled cells, round and irregular diameter were observed too (Figure 4b). Small aerating canals can be observed in mesophilum. Vascular strands and fiber bundles are found pineapple leaf (Figure 4c and Figure 4d, respectively). Fiber bundles presents varied diameter, smaller diameter is observed in upper part and an increasing diameter with approaching the bottom part of leaf. Vascular strands are scarce quantity, rounded and endorsed shape in transversal sections. They are formed by vascular tissue (conduction function) covered with massive sheath of lignified fibers, which poor lignified cell wall and concentric distribution. The vascular tissue contains poor-defined protoxilem

and protofloem (Figure 4c). In the top part of leaf, anatomical structure is slightly similar than basal part. 2-3 layers cells with elliptical or polygonal shape and thin-walled cells are present in upper part, but, on the contrary to basal of leaf, the bottom epidermis is same thick than upper part. Bottom epidermis of basal area is thicker than top area. Fibers bundles are its frequency is more abundant than basal area, but diameter of fibers bundles in basal area is greater than top part (Figure 4). Fibers bundles are concentrated in central part (Figure 4a). Vascular strand contains poor-defined protoxylem and protofloem.

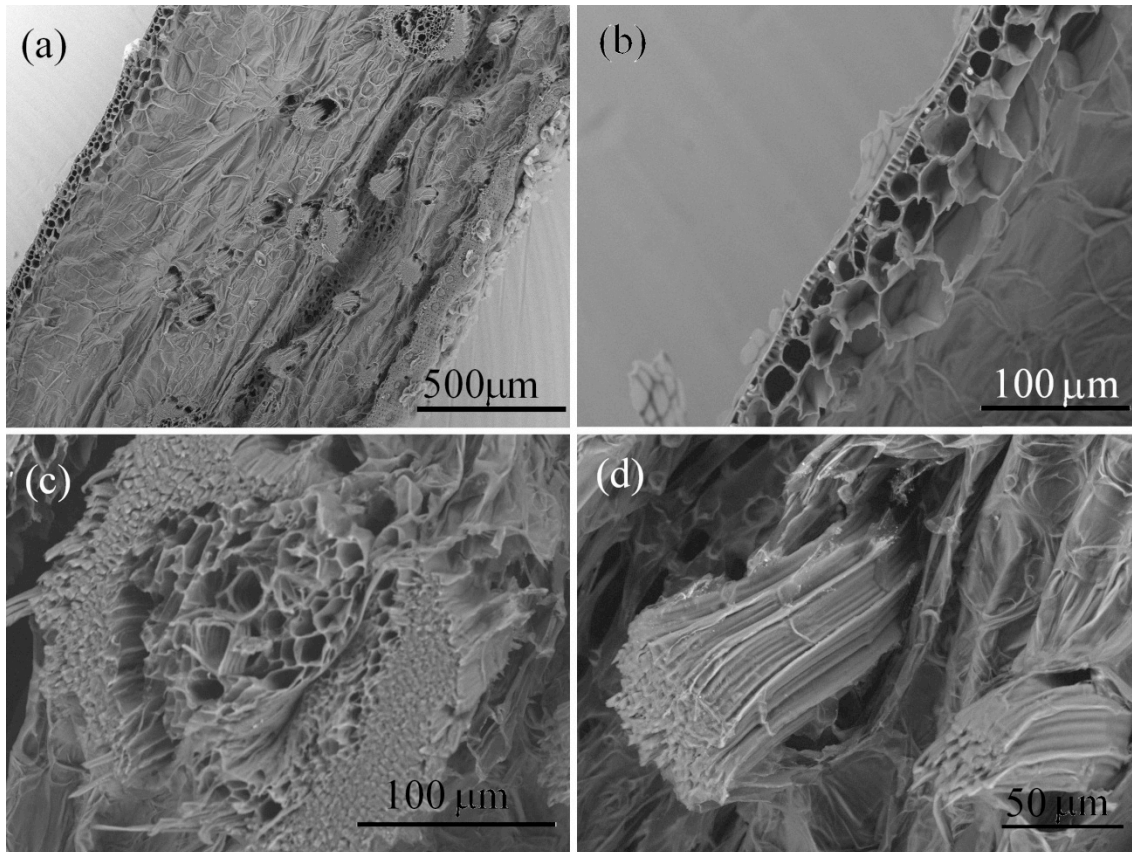


Figure 4. Cross-section of leaf of crown (a), epidermis in the basal of leaf (b), vascular strands (c) and fiber bundles (d) in leaf of crown.

Leaf from plant: there is not large difference along leaf. The epidermis, in the upper and bottom part, is formed by cells with elliptical or polygonal shape and thin-walled cells, but there are differences in the layers quantity. 2-3 layers cell is observed in the bottom part and by contrary, only 1 layer cell is found in the upper part. There are irregulars in the surface of epidermis, which is produce by fibers bundles (Figure 5a). Within the epidermal layer is observed a palaside parenchyma layer formed by 2-3 row cells, which can be considered the beginning of cortex and they are poorly lignified, thin wall and rectangular and round shape and small diameter (Figure 5b). The middle part of leaf is formed by fundamental parenchyma, vascular strand and aerating canals and scarce fibers bundles. Fundamental parenchyma presents thin-walled cell, large diameter and round shape. Fiber bundles are smaller diameter, scarce quantity, rounded in transversal sections and they are located next to epidermis. Spongy mesophilum is formed by round cells, irregular diameter and poor-lignified wall and it was observed aerating canals (Figure 5a). Vascular strands contain (conduction function) covered with massive sheath of lignified fibers, which poor lignified cell wall and concentric distribution. The vascular tissue contains defined protoxilem and

protofloe covered with massive sheath of lignified fibers, which poor lignified cell wall and concentric distribution (Figure 5a). The cells of epidermis contain too silica bodies (Figure 5c), which are oxalate aluminum (Figure 5c).

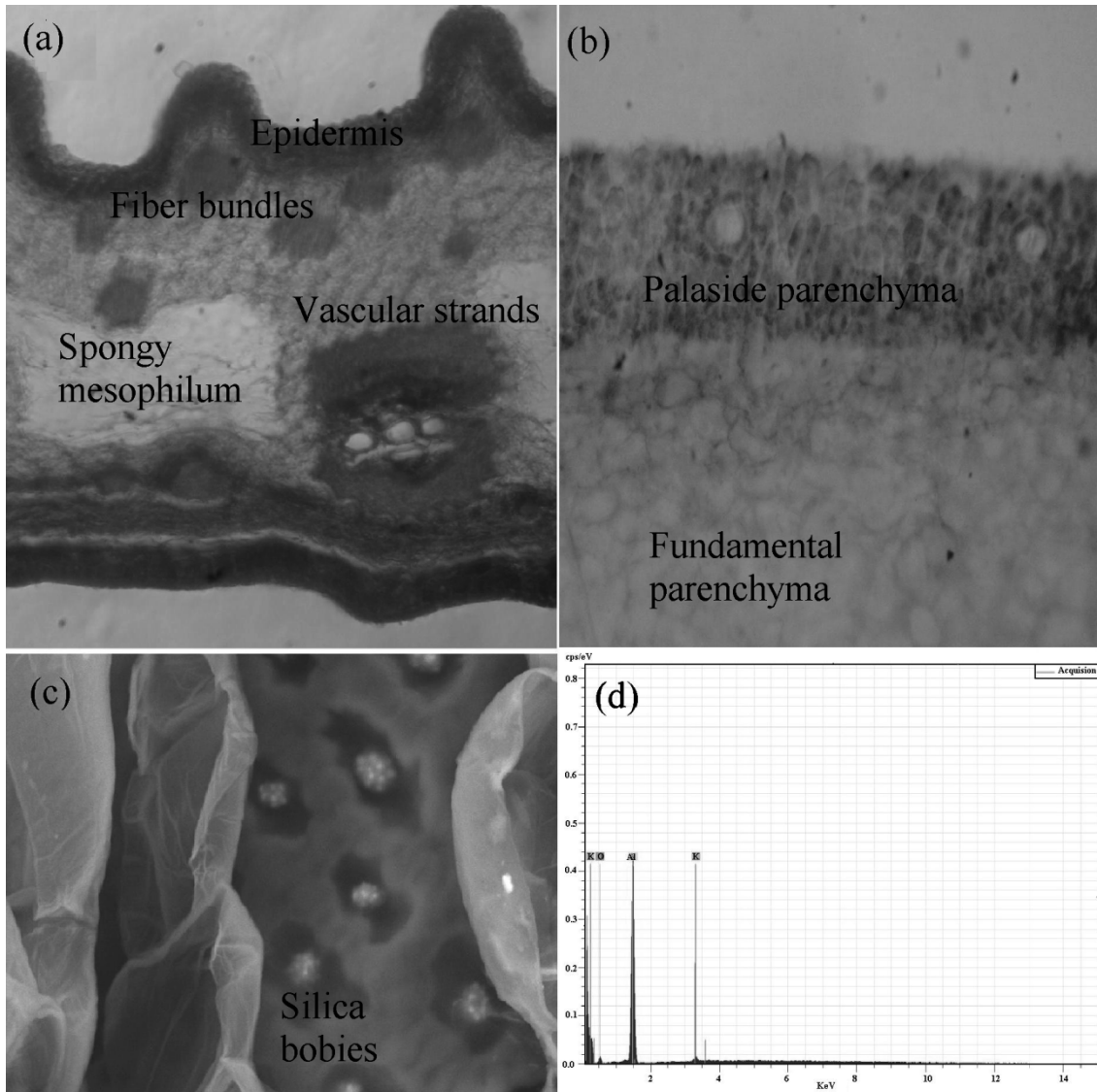


Figure 5. Cross section of leaf of pineapple plant (a), epidermis zone showing cells with elliptical or polygonal shape and thin-walled cells (b), cells of epidermis covers with a thick cuticle and silica bodies presence (c) and spectrum of composition of silica bodies showing high content of oxygen and aluminum elements (d).

3.3. Fiber dimension comparison with pineapple plant and woody fibers

Fibers dimension of different agriculture or forestry waste are detailed in the table 1. The fiber length varied from 0.67 to 4.68 mm. Oil palm fibers, from fruit or bunch, is significant shorter than fibers of pineapple or three plantation species used in Costa Rica (Table 1). And oil plant bunch fibers are the shortest and fibers from pineapple plant are the longest ones. Hardwood species fibers, as *Gmelina arborea* or *Tectona grandis*, are typically shortest than softwood, as *Cupressus*

lusitanica (Moya et al., 2010). The fiber diameter ranged from 5.97 to 29.50 μm and lumen diameter varied from 2.00 to 21.70 μm . Pineapple fibers, both the crown and plant, are the smallest in diameter and the greatest are woody fibers, except in lumen diameter for *Tectona grandis*, which presents lumen diameter smaller than *Gmelina arborea* and *Cupressus lusitanica*. While the fiber and lumen diameter are significantly different between bunch and fruit part of the oil palm, the fruit part presents greater diameter than bunch part. Both parts are statistically different than pineapple and wood fibers (Table 1). Finally, the variation of wall cell was from 1.88 to 4.88 μm , where the fibers with thin wall were pineapple and the thick wall was *Tectona grandis* (Table 1). There are not differences between wall cells within different parts of oil palm and within different part of pineapple. Cell wall thick of fruit from oil palm is different to woody species, however cell wall thick from bunch of oil palm fruit is similar to *Gmelina arborea*, but it is statistically different to *Cupressus lusitanica* and *Tectona grandis* (Table 1).

Table 1. Fibers dimension of leaf of pineapple and oil palm fruit and its relation with others woody fibers.

Fiber parameters	Oil palm		Pineapple		<i>Cupressus lusitanica</i> ¹	<i>Gmelina arborea</i> ¹	<i>Tectona grandis</i> ¹
	Fruit	Bunch	Crown	plant			
Length (mm)	0.86 ^A (0.21)	0.67 ^B (0.20)	3.99 ^C (0.65)	4.68 ^D (0.82)	2.41 ^E (0.64)	1.00 ^F (0.15)	1.24 ^G (0.25)
Dimeter (μm)	23.88 ^A (5.22)	16.91 ^B (3.04)	5.97 ^C (1.59)	6.31 ^C (1.71)	29.50 ^D (9.81)	28.60 ^D (3.39)	26.86 ^D (4.99)
Lumen (μm)	16.11 ^A (4.94)	9.83 ^B (2.37)	2.41 ^C (1.00)	2.00 ^C (1.05)	21.20 ^D (7.47)	21.70 ^D (3.16)	18.08 ^E (5.23)
Wall cell (μm)	3.89 ^A (0.66)	3.54 ^{AD} (0.71)	1.88 ^B (0.42)	2.15 ^B (0.47)	4.15 ^C (1.51)	3.45 ^D (0.51)	4.88 ^E (0.85)

1. Moya et. Al., 2010.

4. Discussion

Oil palm fruit anatomy

The anatomy description of oil palm bunch agreed with Reddy and Kulkarni (1987) description and others anatomy description of palm bunch set (Juliano, 1926; Roberson, 1977). Pericarp zone represents a major volume, bulky and ground tissue of oil palm bunch set. And mesocarp part is the most important zone for commercial view and it contains storing cells, mechanical, conducting, and protective tissue (Reddy and Kulkarni, 1987). Fibrovascular strand (Figure 2c) serves as conductive and mechanical tissue and they are typical tissue of mesocarp zone of different pal bunch set. Raphide sacs are considered a protective tissue and fiber bundles are developed in mesocarp for support function. Parenchyma cells are higher abundance tissue and its function is storing of oil (Juliano, 1926; Roberson, 1977; Reddy and Kulkarni, 1985; Khalil et al., 2006). Tanniferous cells are certainly a mixed function, involving a defense mechanism against living-plant ebonies and delay in decomposition when plant tissue becomes litter (Zucker, 1983). On other hand, central part of oil palm empty fruit corresponds to the general structure of the monocotyledons, represented by collateral vascular bundles embedded in ground parenchyma (Weiner and Liese, 1990). The stem is covered by an epidermis cells consistent of 1-2 cell layers (Bhat et al., 1993). In the core direction, the cortex is located and is formed by parenchyma cells, fibers bundlers and incomplete fibrovascular strands (Weiner and Liese, 1990). The central part of oil palm empty contains storing cells (ground parenchyma), mechanical supporting (fibers

bundlers), conducting (vessels in metaxylem and sieve tubes in metafloem), and protective tissue (epidermis). Although bunch and central part of oil palm empty fruit contain storing, mechanical, conduction and protective tissue, there are large difference in distribution and frequency of each tissue: (i) parenchyma cells are abundant in fruit, but scarce presence in bunch (Figure 2b); (ii) fibrovascular strand (vascular tissue associated with stegmatiferous massive sheath of lignified fibers) with are present in fruit, but vascular strand formed metafloem, metafloem and fibers sheath in the bunch; (iii) Tanniferous cells is not presents in the bunch.

Pineapple leaf anatomy

In relation with pineapple, the anatomy description of leaf agreed shingly with Py et al. (1987) and Khalil et al. (2006) description, however, there are some differences. Py et al. (1987) indicated large proportions of water store tissue and we did no found this characteristic. Khalil et al. not made difference between fibers bundle and vascular strand. Besides spongy mesophilum tissue was not mentioned for them. They showed vascular strand instead of fibers bundle. The structure anatomy found in the pineapple leaf is typical anatomy of the Bromeliaceae species, with vascular strand, spongy mesophilum, epidermis tissue and parenchyma cells (Martin, 1994; Proença and Sajo, 2007). Leaf is a primary photosynthesis organ for pineapple plant and anatomy reflect the different function developed during growing (Mauseth, 2009). Cross-section showed several anatomy features: storing cells, mechanical, conducting, interchange, and protective tissue. Fibrovascular strand (Figure 2c) serves as conductive and mechanical tissue and fibers strand is a sporting tissue too. These structures are the adaptations for plants, to provide strength and stiffness to the leaf (Mauseth, 2009). Parenchyma cells are higher abundance tissue and its function is storing, spongy mesophilum *allow for the interchange of gases*, palisade cells are *responsible for photosynthesis* because they contain chloroplasts. Epidermis is a protective tissue (Krauss, 1949; Bartholomew et al., 2003) and waterproof (Py et al., 1987). The cuticle protects not only the outer walls, but also the lateral and interior walls. The aerating canals locates into mesophyll can play a role in gaseous interchange (Krauss, 1949).

There are some differences in anatomy between leaf from crown and plant. For example, vascular strand are poor-defined in the crown leaf (Figure 4a), but it is best defined in the plant leaf (Figure 5a), palaside parenchyma in plant leaf is thicker crown leaf, fibers bundles are highest frequency in plant leaf and spongy mesophilum tissue is greater area in plant leaf than crown leaf. However, an important feature for industrial utilization of pineapple, or other natural fibers, cultivation is the fibers dimensions (Bismarck et al., 2005). For example, a longer fiber has higher strength (Reddy and Yang, 2005). Cross fiber characteristics (lumen and fiber diameter and wall cell) is similar in bunch and crown part, but fiber length is statistically different between crown and plant of pineapple (Table 1).

The leaf from plant is highest proportions part of the pineapple plant and it is slightly different than from crown in relation to wood anatomy, but fiber dimensions are same both of them (Table 1). Leaf from plant has higher proportions fibers than crown, so we can produce higher quantity of raw material from plant than crown. Then products manufactured with plant, as fiberboards, can be easily produced by raw material availability, but we physical or mechanical properties can be similar between them.

An inconvenient of epidermis tissue in the pineapple leaf is that this is an impermeable tissue (Py et al., 1987) if we want to dry this leaf. The water is not removed easily inside the leaf because the epidermis cells not allow water flow thorough cuticle (Py et al., 1987). According with this result, when it is necessary to remove the water from leaf, it is necessary firstly to remove or tear (Figure 4d), so water flow crosses throughout the epidermis.

Conclusions

Pineapple leaf anatomy is different than fruit and bunch of oil palm fruit. And both of them are different than wood anatomy. The main differences are fiber bundles and vascular strand. Fiber dimensions and anatomical distribution of vascular strand are different between pineapple and oil plant. Large quantities of vascular strand are found in the oil plant bunch, but the frequency of vascular strand is similar in oil palm fruit. Other differences are the parenchyma abundance and silica abundance. Large proportion of parenchyma is found pineapple leaf in relations to bunch of fruit of oil palm and wood. Agriculture residues with higher parenchyma content have higher swelling ratio produce because they attract more water due to attractive OH groups (Akgül et al., 2010), then we can wait highest swelling ratio in fiberboard manufactured with pineapple leaf waste.

Fiber dimensions of pineapple are very different than oil palm (fruit and bunch) and wood fibers. The oil palm and wood present shorter fiber and wider diameter and thicker wall than pineapple leaf. Physical and mechanical properties are is affected panels because these properties are correlated with fiber dimensions (Lee et al., 2006), then fiberboards manufactured with pineapple leaf can be different than fiberboards made of oil palm fruit. On the others hand, woody fibers presents similar fiber dimensions than fruit and bunch of oil palm fruit. The same fiber dimensions of these lignocelluloses material had permitted the mixing between wood and oil palm fruit. However, although there is compatibility between these lignocelluloses material is the necessary to evaluate chemical compatibility.

Acknowledgments

We thank the Vicerrectoría de Investigación y Extensión of Instituto Tecnológico de Costa Rica and CONARE for Financial support and PINDECO and COOPEAGROPAL for providing the raw materials and facilities for this study.

References

- ACUÑA, G. (2009). La actividad Piñera en Costa Rica: De la producción a la expansión: Principales características, impactos, retos y desafíos. Ditso. San José Costa Rica (Avaible in <http://es.scribd.com/doc/48388906/Estudio-La-actividad-Pinera-en-Costa-Rica-De-la-produccion-a-la-expansion-Principales-caracteristicas-impactos-retos-y-desafios-Ditso>). (In spanish)
- AKGÜL, M; GÜLER, C and ÜNER, B (2010). Opportunities in utilization of agricultural residues in bio-composite production: Corn stalk (*Zea mays indurata* Sturt) and oak wood (*Quercus Robur* L.) fiber in medium density fiberboard. African Journal of Biotechnology 9 (32): 5090-5098.
- BARRANTES, A ; CASTRO, G. and SALAS, N. (2010). Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2009. Oficina Nacional Forestal. Gobierno de Costa Rica. 24 p. (In spanish)
- BARTHOLOMEW, DP; PAULL, RE and ROHRBACH, KG 2003. The pineapple: botany, production and uses. CABI publishing, London, UK. 301 p.
- BERTSCH, F. (2006). El recurso de la tierra en Costa Rica. Agronomía Costarricense 30: 133-156.
- BHAT, KM; MOHAMED NASSER, KM and THULASIDAS, PK (1993) Anatomy and identification os South Indian rattans (Calamus species). IAWA Journal 14: 63-76
- BISMARCK, A; MISHRA, S and LAMPKE, T (2005). Plant Fibers as Reinforcement for Green Composites. In: MOHANTY, AK., MISRA, M and DRZAL, LT (2005) Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites. Taylor & Francis Group, LLC, Florida. pp. 51-122

- BOWYER, JL, SHMULSKY, R and HAYGREEN, JG (2007) Forest products and wood science: an introduction. 5th edition. Wiley-Blackwell publishing. IOWA. 558 p.
- GFA CONSULTING GROUP (2010). Informe Final: Estudio del Estado de la producción sostenible y propuesta de mecanismos permanentes de fomento de la producción sostenible. (Consultoría SP-12-2009). San José. 417 p. (In Spanish)
- KHALIL, HP; ALWANI, MS and OMAR AK (2006) Chemical composition, anatomy, lignin, distribution, and cell wall structure of Malaysian plant waste fibers. *Bioresources* 1(2): 220-232.
- KRAUSS, B H (1949) Anatomy of the vegetative organs of the pineapple *Ananas comosus* L. Merr. II. The leaf. *Botany Gazzette* 110: 333-404.
- KISSINGER, M and REES, MK (2010) Exporting natural capital: the foreign eco-footprint on Costa Rica and implications for sustainability. *Environment, Development and Sustainability* 12: 547-560.
- JAMES, W (2010). Life-cycle inventory of particleboard in terms of resources, emissions, energy and carbon. *Wood and Fiber Science* 42(CORRIM Special Issue): 90–106.
- JULIANO, JB (1926) Origen, development and nature of the stony layer of the coconut (*Cocos nucifera* L.) *Philippine Journal Science* 30: 187-200.
- HASHIM, R; SAARI, N; SULAIMAN, O; SUGIMOTO, T; HIZIROGLU, M and TANAKA, R (2010) Effect of particle geometry on the properties of binderless particleboard manufactured from oil palm trunk. *Journal Material and Design* 31:4251-4257
- LEE, S; SHUPE, TF and HSE, CY (2006) Mechanical and physical properties of agro-based fiberboard. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64: 74–79
- MARTIN, CE (1994). Physiological ecology of the Bromeliaceae. *The Botanical Review* 60:1-82.
- MOYA, R and MUÑOZ, F (2010) Physical and mechanical properties of eight species from fast-growth plantation in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 22(3): 317-328.
- MOYA, R; MUÑOZ, F; SALAS, C; BERROCAL, A; LEANDRO, L and ESQUIVEL, E. (2010). Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. (en línea). Kurú: *Revista Forestal* 7(18-19): 1-150p. (http://www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/index.htm)
- MAUSETH, J. (2009). *Botany: an introduction to plant biology*. 4th edition. Jones & Bartlett Learning. India 624 p.
- ONUORAH, EO (2010) Properties of fiberboards made from oil palm (*Elaeis guineensis*) and/or mixed tropical hardwood sawmill residues. *Journal of Tropical Forest Science* 17(4): 497-507
- PROENÇA, SL and SAJO, MG (2007) Leaf anatomy of bromeliads from the cerrado of São Paulo State, Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 21(3): 657-673.
- PY, C; LACOEUILHE, JJ and TEISSON, C (1987) *The pineapple: cultivation and uses*. Maisonneuve et Larose . France. 568 p.
- REDDY, GN and KULKARNI, AR (1987). Contribution to the anatomy of palm fruits-Cocosoid palms. *Proc. Indian Acad. Sci. (Plan Sci)* 95(3): 153-165.
- REDDY, N and YANG, Y. 2005. Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *TRENDS in Biotechnology* 23(1): 22-27.
- ROBERTSON, FL (1977). Morphology and development of the fruit and seed of *Jubaeopsis caffra* Becc. *Principles* 21: 23-29.
- RUZIN, SE (1999) *Plant microtechnique and Microscopy*. Oxford University, Oxford, USA. 324 p.
- WEINER, G. and LIESE, W (1990) Rattans – Stem anatomy and taxonomic implications. *IAWA J.* 11:61-70.
- WEINER, G. and LIESE, W (1993) Generic identification key to rattan palms based on stem anatomical characteristics. *IAWA J.* 14:55-62.
- ZUCKER, WV (1983) Tannins: does structure determine function? An ecological perspective. *The American Naturalist* 121: 335-365.

Anexo 3. Poster presentado en Exporegional Universitaria: Extensión y Acción Social de CONARE 2010

TEC Tecnológico de Costa Rica | Escuela de Ingeniería Forestal

Tableros Prensados a partir de residuos de **madera, piña y palma**, combinado con Empaque Reciclado de **TetraBrik**

Objetivo:

Evaluar la compatibilidad, la formulación, la conformación y la caracterización físico-mecánica de tableros compuestos por material reciclado.

Misión:

Se pretende encontrar una vía para el aprovechamiento de los residuos como potencial fuente de materia prima para la elaboración de tableros prensados, mediante el abordaje sistemático a partir de estudios de compatibilidad entre ellos, formulación de composiciones para los materiales y su caracterización para establecer la posibilidad de un producto con potencial uso comercial en la industria de la construcción.

Tableros a partir de material de desecho



Pinzote de palma aceitera



Tablero prensado



Residuo seco

Desechos según el tipo de Industria

Las *actividades agrícolas* generan desechos sintéticos como abonos, plaguicidas, material de cosecha como plásticos cobertores, material de empaque y desechos naturales como el bagazo de la caña azúcar, el raquis del banano, el rastrojo o cocona de la piña, entre otros. La *industria forestal* en Costa Rica genera alrededor de 1,5 millones de metros cúbicos de residuos sólidos, consistentes principalmente en aserrín y leña. La *sociedad actual* genera una cantidad importante de residuos de empaques de alimentos y productos de consumo tales como los envases de TetraBrik®

Zona de Impacto: Zona sur desde Buenos Aires hasta zona Frontera.









Doctor, Róger Moya Roque / rmoya@tcr.ac.cr - Tel: 2550-2433
 Ingeniero, Diego Camacho Cornejo / dicamacho@tcr.ac.cr - Tel: 2550-2531

→ Investigación del Instituto Tecnológico de Costa Rica

Desechos de piña y palma pueden servir en construcción de casas

Con estos residuos es posible fabricar tableros aglomerados

Tableros podrían utilizarse en mueblería, cielorrasos y paredes

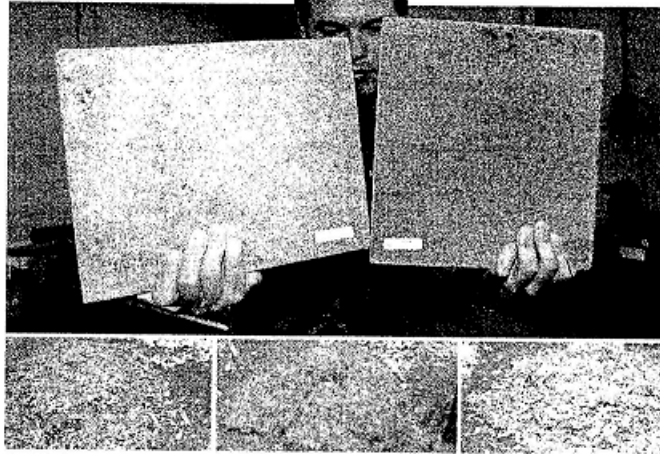
Pablo Fonseca Q.
pfonseca@nacion.com
Los desechos de la piña y la palma aceitera que se producen en nuestro país podrían terminar formando parte de viviendas.

Una investigación desarrollada en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) ha permitido convertir esta basura orgánica en tableros similares a los que se conocen popularmente como "durpanel", pero cuyo nombre formal es "aglomerados".

Esta investigación nació con el interés de aprovechar los desechos que las plantaciones de estos importantes productos agrícolas generan en el país, los cuales, solo en el caso de la piña, representan cerca de millón y medio de toneladas de rastrojos por año.

En la actualidad, la mayoría de esos desechos no se aprovechan de ninguna manera y se dejan en algún terreno para que se pudran, con los consecuentes malos olores, contaminación y plagas.

Idea. La propuesta del TEC es liderada por el ingeniero Róger Mo-



David Barrientos muestra dos tableros: uno hecho con desechos de palma y melina (izq.) y otro con desechos de piña y teca (der.). Abajo, en el orden usual, desechos procesados de piña, palma y madera. **ABELARDO FONSECA**

A ESTUDIO Actualmente se analizan las propiedades de estos materiales para encontrar la mejor de las opciones

geniero asistente Diego Camacho y del químico David Barrientos.

Según explicó Camacho, durante los últimos meses se dedicaron a buscar la mejor manera de secar y picar los rastrojos de piña y los pinzotes de palma.

"Los pinzotes representaron un

había que eliminarlo. Hubo que trabajar en un proceso de lavado y secado para eliminar esos residuos", explicó el ingeniero.

Una vez preparada la materia prima, los investigadores comenzaron a realizar distintas mezclas. Por ejemplo, tomaron los rastrojos de piña procesados y los mezclaron con restos de madera como el ciprés, la melina y la teca -también procesados- junto con el compuesto formaldehído, que funciona como aglomerante. Estas mezclas fueron tratadas con calor y presión, lo cual permitió unir los mate-

riales y producir los tableros.

Así como con la piña, con los desechos de la palma aceitera y madera también se realizaron mezclas diferentes y se crearon tableros.

Las distintas mezclas variaron en distintos porcentajes la proporción de cada material.

Ahora, más de un año después de haber comenzado el trabajo, tienen listos cientos de tableros para ser sometidos a distintas pruebas de materiales.

Estas pruebas, que pronto se iniciarán, buscan conocer cómo se comportan dichos tableros en exte-

ALTA IMPORTACIÓN Déficit de madera en Costa Rica

Costa Rica se ha dedicado en los últimos años a conservar sus bosques, pero sigue necesitando madera en distintos procesos productivos. Por eso, no es extraño que el déficit en el comercio de madera sea alto.

El 73% de la madera que se consume en Costa Rica viene de países como China, Estados Unidos y Canadá. Esto quiere decir que en este 2010 se importarán casi 900,000 metros cúbicos de madera.

De la cantidad total de madera que consume Costa Rica, el 43% se utiliza en embalajes (por ejemplo, plataformas para exportar distintos productos), el 34% se destina a la construcción y el 11% a mueblería.

FUENTE: ING. DIEGO CAMACHO.

riores y cuál ofrece la mejor resistencia a la presión, por ejemplo.

Al final de las pruebas, los investigadores sabrán cuál fue mejor fórmula, una fórmula que puedan patentar y vender después a empresarios que orgánicamente aprovechan los desechos de estas plantaciones.

"Si encontramos un tablero este tipo que sirva para mueblería, sería genial, pero también podrían servir en cielorrasos o en construcción de paredes", comentó Camacho.

Los investigadores aún no tan seguros de si esta opción es más barata que los materiales tradicionales actuales. ■