

## Ensayo de tableros de partícula fina en una matriz de pulpa de celulosa y urea formaldehído

Moraima Cristina Mera Aguas

Docente de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la PUCE-SI

Autor para correspondencia: mmera@pucesi.edu.ec

Edwin Andrés Simbaña Villarreal

Docente de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la PUCE-SI

Autor para correspondencia: esimbania@pucesi.edu.ec

Ibarra - Ecuador

Artículo recibido el 10 de mayo de 2012. Aceptado tras revisión el 30 de mayo de 2012

### RESUMEN

En Ecuador a diario se producen abundantes residuos agrícolas sin ningún uso tecnológico como es el caso de la cabuya (*fourcraea andina*), de la que se aprovecha apenas el 5% de su peso como fibra y el resto constituye un residuo contaminante. Investigaciones anteriores demostraron la factibilidad de elaborar tableros de partícula fina con esta fibra, de ahí el propósito de evaluar el desempeño mecánico de este tipo de material compuesto a base de residuos lignocelulósicos obtenidos como pulpa y de resinas termoestables.

En este trabajo se estudian las siguientes variables: dependientes; resistencia a la tracción, permeabilidad y adhesión a superficies e independiente; tipo de aditivo (resina). Se aplicó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, y una prueba de significancia Tukey al 5%. Tras lo cual, concluimos que el aprovechamiento de residuos agrícolas en la elaboración de materiales compuestos, ha demostrado que, al laminar pulpa de cabuya (*fourcraea andina*) en una matriz polimérica con urea formaldehído, se obtienen tableros con buenas propiedades mecánicas. El mejor resultado lo presenta el tratamiento 4 (laminado con resina urea formaldehído), el que además tuvo una reducción en el empleo de resina cercana al 54% con respecto a investigaciones pasadas. Este bio-polímero (pulpa) junto con un laminado sintético de resina urea formaldehído es una alternativa válida para el desarrollo industrial en campo del reciclaje.

**Palabras Clave:** Pulpa de cabuya, resina urea formaldehído, tableros de partícula fina

### ABSTRACT

In Ecuador abundant agricultural waste is produced daily without any use of technology as in the case of sisal (*fourcraea Andean*), of which only 5% of its weight as fiber is used and the rest is waste contaminant. Previous research has demonstrated the feasibility of preparing fine particle boards with this waste fiber, thus the purpose of evaluating the mechanical performance of this type of composite material, which is based on lignocellulosic residues, obtained through waste pulp, and thermosetting resins.

The following variables were studied, dependent variables: tensile strength, permeability, and adhesion to surfaces; and one independent variable, additive type (resin). We used a completely randomized design with four treatments and three repetitions, and a Tukey test at 5% significance. After which, we conclude that the use of agricultural waste in the production of composite materials has shown that the sisal laminar pulp (*fourcraea andina*) with a urea-formaldehyde polymer matrix achieves boards with good mechanical properties. The best result was shown in treatment 4 (urea formaldehyde laminated resin), which also had a reduction close to 54% in the use of resin relative to past research. The result indicates that this bio-polymer (pulp) together with the synthetic resin laminate, urea formaldehyde, is a valid alternative for industrial development in the field of recycling.

**Keywords:** sisal pulp, urea formaldehyde resin, fine particle boards

## INTRODUCCIÓN

La madera es un material usado en una infinidad de productos y aplicaciones por sus características físicas y mecánicas de tal manera que es altamente demandada en todo el mundo, lo que provoca una fuerte presión sobre los recursos forestales. En Ecuador se consume más madera de la que se siembra. Según el Ministerio del Ambiente en el país en promedio se tala alrededor de 60.000 hectáreas al año y se reponen unas 20.000. Este comportamiento hace ver nuestra dependencia en el aprovechamiento, pero una baja tasa de reposición, por lo que la deforestación es un problema serio a nivel global, ya que el cambio climático que estamos experimentando se debe justamente a la tala indiscriminada de bosques.

A nivel tecnológico, no se han desarrollado nuevas técnicas o métodos para aprovechar otros materiales como los residuos agroindustriales lignocelulósicos, que hagan la misma o parecida función de la madera, inclusive a bajo costo, éste sería el gran desafío de la ciencia y tecnología para mitigar los impactos de la deforestación y el cambio climático.

El grupo de investigación de Química Aplicada de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, consciente de la problemática ambiental, investigó nuevas alternativas para el aprovechamiento de pulpa de cabuya como matriz polimérica con dos tipos de compuestos químicos: resina termoestable de urea formaldehído (UF) y acetato de polivinilo (APV); junto con sulfato de amonio al 1% como catalizador en la elaboración de tableros que puedan remplazar a los productos convencionales. Los tableros obtenidos presentan estructuras matriciales de importantes características, como resistencia a la tracción y adhesión a superficies, por lo que se propone su empleo en un sin número de aplicaciones. Los tableros laminados con resina UF poseen una resistencia a la tracción considerablemente mayor que los otros ensayos. En la fase experimental se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. La prueba de significancia fue Tukey al 5%.

En Ecuador sería el primer intento de usar pulpa celulósica laminada con resina termoestables de urea formaldehído, como alternativa de remplazo a los derivados de la madera, en los registros de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual OMPI, no existen trabajos similares, la información encontrada hace referencia a procesos de fabricación de tableros de fibra de densidad media (MDF), y a tableros de celulosa con resina termoestable urea formaldehído (UF).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Química Aplicada de la Pontificia Universidad Católica de Ecuador sede Ibarra, Escuela de Ciencias Agrícolas y Am-

bientales (ECAA), la resina Urea formaldehído utilizada en la elaboración de los tableros, fue una donación de la Empresa Interquimec (Akzo-Nobel); los análisis de Tracción y Resistencia se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (Lemat) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

Para el desarrollo de las pruebas fue necesario elaborar probetas de acuerdo a la Norma ASTM D 638, así como tableros; todo ello con ayuda de un termoprensa. Todos los tratamientos presentan como materia prima pulpa de cabuya y sulfato de amonio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 1% como catalizador. Una vez elaborados tanto las probetas como los tableros fueron recubiertos, dependiendo del tratamiento, de una fina película ya sea de Resina Urea Formaldehído (UF) o de Acetato de Polivinilo (APV). Los ensayos de resistencia a la tracción se realizaron en una máquina universal; los restantes con los instrumentos y materiales que se describen más adelante en el procedimiento.

## Objetivos

### General

- Ensayar una matriz de pulpa de celulosa y urea formaldehído en la elaboración de tableros de partícula fina.

### Específicos

- Obtener pulpa de residuos lignocelulósicos de cabuya.
- Desarrollar un tablero compuesto en base a pulpa de cabuya y otros aditivos como son: catalizador (sulfato de amonio), acetato de polivinilo (APV) y resina urea formaldehído (UF).
- Determinar la resistencia del material compuesto.
- Establecer los criterios para la aplicabilidad del material.

## Procedimiento

El desarrollo del experimento contempló las siguientes etapas:

**1. Obtención del material lignocelulósico.** La materia prima se obtuvo en la parroquia Apuela, zona de Intag, provincia de Imbabura, como residuo del desfibrado de algunas microempresas que se dedican a esta actividad en la zona. Para la selección de la materia prima, se tomaron en cuenta las propiedades físico-químicas y la disposición en el medio.



Fotografía N° 1. Materia Prima (residuos del proceso de desfibrado de la cabuya)

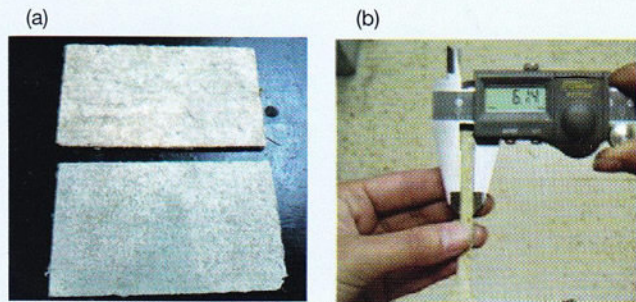
**2. Elaboración de la pulpa.** La fibra de cabuya se corta con un largo aproximado de 5cm, para luego lavarla y someterla a ebullición durante 4 horas en hidróxido de sodio al 15%. Mientras se digesta la fibra, se añade un antiespumante n-Octanol. Una vez terminado, se lava con abundante agua; previo al despulpado, es necesario licuarla por 20 min para obtener una pasta homogénea, luego se coloca en la despulpadora adicionando agua durante 30 min. Este proceso se llevó a cabo en la empresa Totorá Sisa (sector San Rafael, cantón Otavalo). Obtenida la pulpa, se secó a 110°C en los laboratorios de la ECAA.



Fotografía N° 2. Lavado de la pulpa de cabuya, luego del proceso de extracción

**3. Elaboración de probetas y tableros.** Luego de varias pruebas y una vez establecido el comportamiento de la resina junto con la pulpa, se procedió a elaborar las probetas y tableros. El catalizador (sulfato de amonio 1%) se añade junto con la pulpa en todos los tratamientos a excepción del testigo y se emplea para ayudar a la adhesión de los materiales, luego del proceso de prensado (en una termoprensa a 70°C durante 20 min) y curado (dos horas en estufa a 50°C). Se laminan los tratamientos con acetato de polivinilo (tratamiento tres), y resina urea formaldehído (tratamiento cuatro). Con la finalidad de bajar la carga de

químicos que se utilizan en la formulación, se procura una capa lo más fina y homogénea posible.

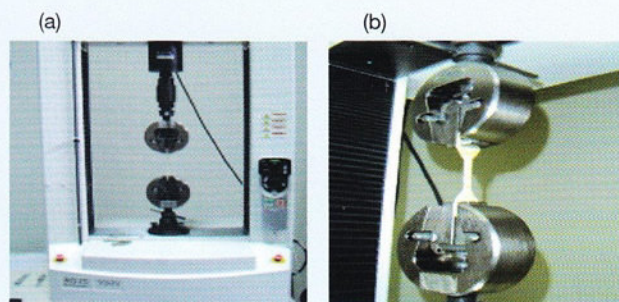


Fotografía N° 3. Probetas (a) y tableros (b) para ensayos

**4. Pruebas de resistencia y permeabilidad.** El primer análisis se realizó en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL); las pruebas de permeabilidad, en el Laboratorio de Química Aplicada de la ECAA, para las pruebas de resistencia a la tracción se utilizó una máquina universal de ensayos, de acuerdo a norma ASTM D 638.

El ensayo de tracción (resistencia) de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produzca la rotura de la probeta. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un análisis de tensión suelen ser muy pequeñas.

Para evaluar la permeabilidad, se utilizó como testigo una gota de agua sobre un vidrio de reloj y, sobre cada uno de los tratamientos, se tomó el tiempo de evaporación y/o de absorción en los tableros y en el vidrio, teniendo en cuenta que dada a la naturaleza de este último se desprecia la absorción.



Fotografía N° 4. Prueba de resistencia. Máquina universal (a) y ensayo de resistencia (b)

**5. Pruebas de adhesión.** Se realizaron en diferentes superficies: cerámica, fórmica y madera, el pegamento utilizado fue cemento de contacto.



Fotografía N° 5. Adhesión a superficies

### Hipótesis

¿El uso de pulpa de cabuya como matriz polimérica, laminada con resina urea formaldehído mejora la resistencia a la tracción y la adhesión a superficies en tableros de materiales compuestos?

### Factores de estudio

**Variable dependiente:** características de los tableros (resistencia, a la tracción, permeabilidad, adhesión a superficies)

**Variables independientes:** tipo de aditivo para el laminado

- Acetato de polivinilo (goma) (laminado)
- Resina urea formaldehído (laminado)

El tiempo, temperatura, cantidad de pulpa y catalizador (sulfato de amonio 1%), son constantes para todos los tratamientos

Tabla N°1. Condiciones del experimento

Temperatura (°C)	Prensa	70
	Curado	50
Tiempo (min)	Prensa	20
	Curado	120
Cantidad de pulpa (g)	Probeta	4
	Tablero	40

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 2. Descripción de los tratamientos

Tratamientos	Pulpa + Adhesivo	N° Repeticiones
T1	Solo pulpa (testigo)	3
T2	Pulpa + Catalizador de tableros	3
T3	Pulpa + catalizador de tableros + APV (laminado)	3
T4	Pulpa + catalizador de tableros + RUF (laminado)	3

APV: Acetato de polivinilo  
RUF: Resina urea formaldehído

Fuente: Elaboración propia

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones

Tratamientos:	4
Repeticiones:	3
Unidades experimentales:	12

### Análisis estadístico:

El esquema del análisis de varianza es el siguiente:

Tabla N° 3. Análisis de Varianza

Fuentes de variación	G.L.
Total unidades experimentales	11
Tratamientos	03
ERROR EXP	08

CV: Coeficiente de variación

G L: Grado de libertad

C.V. = El valor no debe superar el 10%. La prueba de significancia que se aplicó fue Tukey al 5%

Fuente: Elaboración propia

### Parámetros a evaluarse en los tableros:

- Resistencia a la tracción
- Permeabilidad
- Adhesión a superficies

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez finalizadas las pruebas establecidas a los tableros y probetas, se presentan los siguientes resultados:

### Resistencia a la tracción

Para analizar este parámetro, se utilizaron probetas de ensayo tipo IV<sup>B</sup>, según Norma ASTM D638-97. El análisis se llevó a cabo en una máquina universal en el laboratorio de ensayo de materiales (Lemat). La probeta que mayor resistencia a la tracción presenta es T4 (pulpa + laminado con resina urea formaldehído), seguida del tratamiento T3 (pulpa + laminado de acetato de polivinilo).

En las tablas N° 4 y 5, se presentan los resultados obtenidos, y el análisis de varianza, que nos muestra la diferencia significativa entre tratamientos, el coeficiente de variación es de 4,47 apropiado para el desarrollo de ensayos de laboratorio.

Tabla N° 4. Resumen datos variable resistencia a la tracción

Tratamientos	Corresponde	Fuerza máxima (N)
T1	Testigo	5,37
T2	Pulpa + Catalizador de tableros	9,46
T3	Pulpa + catalizador de tableros + APV (laminado)	29,69
T4	Pulpa + catalizador de tableros + RUF (laminado)	84,65

Fuente: Resultados Análisis resistencia. Laboratorio de ensayo de materiales (Lemat)-ESPOL

**Tabla N° 5.** Análisis de varianza resistencia a la tracción

FV	GL	SC	CM	F cal	Ftab5%	
Total	11	11997,84	1090,71			
Tratamiento	3	11981,14	3993,71	1913,16	4,07	*
Error experimental	8	16,70	2,09			

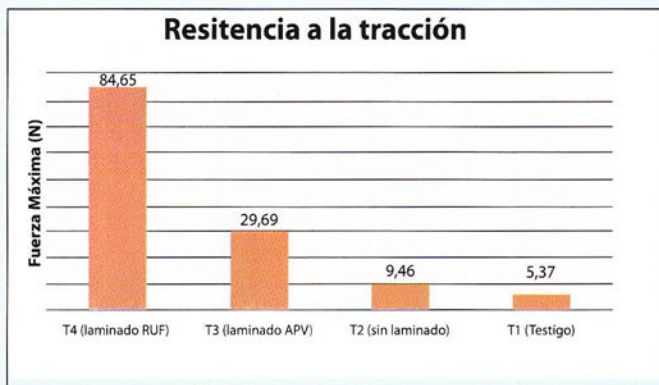
CV= 4,47%  
 \* Significativo  
 Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 6 encontramos la prueba de Tukey al 5% que determina cuatro rangos de escala para esta variable. Se puede observar claramente (gráfico N°1) la notable diferencia del tratamiento 4 (pulpa con laminado de resina urea formaldehído), con respecto a los otros, cuya resistencia es aproximadamente tres veces mayor que el tratamiento de pulpa con laminado de acetato de polivinilo.

**Tabla N° 6.** Prueba de Tukey al 5% para la variable resistencia a la tracción

Tratamiento	Corresponde	Media	Rango
T4	Testigo	84,65	a
T3	Pulpa + Catalizador de tableros	29,69	b
T2	Pulpa + catalizador de tableros + APV (laminado)	9,46	c
T1	Pulpa + catalizador de tableros + RUF (laminado)	5,37	d

Fuente: Elaboración propia



**Gráfico N° 1.** Resistencia a la tracción  
 RUF: Resina urea formaldehído  
 APV: Acetato de polivinilo

**Permeabilidad**

La Tabla N° 7 nos muestra el resumen de resultados de la prueba de permeabilidad, la tabla N° 8, hace referencia al análisis estadístico, el que nos dice que es significativo, el coeficiente de variación es de 5,8; considerado dentro del rango para manejo de ensayo de laboratorios. El

mejor resultado para esta prueba, también presenta el tratamiento 4 que contiene pulpa de cabuya con laminado de resina urea formaldehído, seguido por el tratamiento 3 laminado con acetato de vinilo, estos a pesar de poseer mejores características que el testigo formado únicamente por pulpa de cabuya, se consideran permeables, para esta prueba es necesario comprar el tiempo de absorción de los tableros con el de evaporación del agua en el vidrio reloj, que fue de 90min. La comparación con este tiempo de evaporación es determinante, puesto que en el vidrio se desprecia la absorción.

**Tabla N° 7.** Resumen de datos Tiempo evaporación/absorción (Permeabilidad)

Tratamientos	Corresponde	Tiempo (min)
T1	Testigo	0,19
T2	Pulpa + Catalizador de tableros	0,14
T3	Pulpa + catalizador de tableros + APV (laminado)	3,77
T4	Pulpa + catalizador de tableros + RUF (laminado)	36,79

Fuente: Resultados de análisis resistencia. (Lemat) - ESPOL

**Tabla N° 8.** Análisis de varianza Tiempo evaporación/ absorción de Agua (Permeabilidad)

FV	GL	SC	CM	F cal	Ftab5%	
Total	11	2852,41	259,31			
Tratamiento	3	2849,59	949,86	2687,37	4,07	*
Error experimental	8	2,83	0,35			

CV= 5,8%  
 \* Significativo  
 Fuente: Elaboración propia

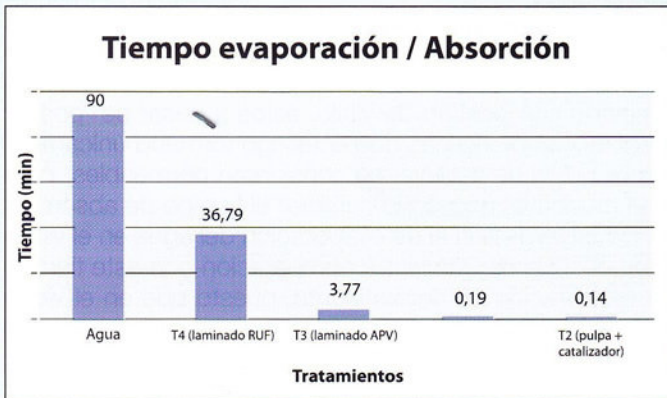
La prueba de significancia Tukey al 5% establece tres rangos para esta variable. Se considera el tratamiento dos y el testigo como similares (Tabla N° 9)

**Tabla N°9.** Prueba de Tukey al 5% para la variable permeabilidad

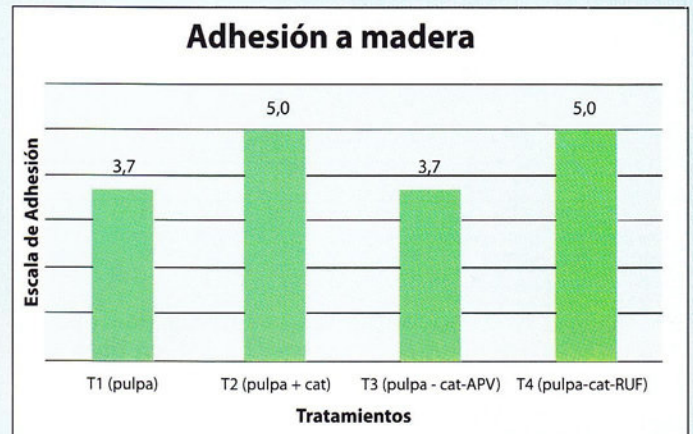
Tratamiento	Media	Rango
T4	36,79	a
T3	3,77	b
T1	0,19	c
T2	0,14	c

Fuente: Elaboración propia

El gráfico 2 muestra la diferencia entre tratamientos y, a pesar que el laminado con resina UF es superior estadísticamente, este no tiene características impermeables por encontrarse por debajo del tiempo de evaporación del agua. Los tableros no podrían utilizarse en laminados de superficies expuestas habitualmente a la humedad.



**Gráfico N° 2.** Tiempo evaporación/ absorción de agua (permeabilidad) RUF: Resina urea formaldehido APV: Acetato de polivinilo



**Gráfico N° 3.** Prueba de adhesión a madera RUF: Resina urea formaldehido APV: Acetato de polivinilo

**Adhesión a superficies**

Esta prueba se realizó fijando los tableros sobre varias superficies, utilizando cemento de contacto como pegamento, la prueba establecida fue no paramétrica; sin embargo, se puede establecer que los mejores resultados de adhesión los encontramos en formica para todos los tratamientos. En el caso de cerámica el mejor fue para T4 (pulpa + resina urea formaldehido) y para la cerámica los mejores tratamientos son T2 (pulpa + catalizador) y T4 (pulpa + Resina UF).

Las tablas 10, 11 y 12 muestran los resultados para las diferentes pruebas de adhesiones en superficies como madera, formica y cerámica. Las representaciones gráficas las encontramos a continuación de cada resumen de resultados (gráficos 3, 4, 5 y 6).

**Escala de equivalencias de adhesión:**

- 1 Mala
- 2 Regular
- 3 Buena
- 4 Muy buena
- 5 Excelente

**Tabla N° 10.** Resumen datos prueba de adhesión a madera

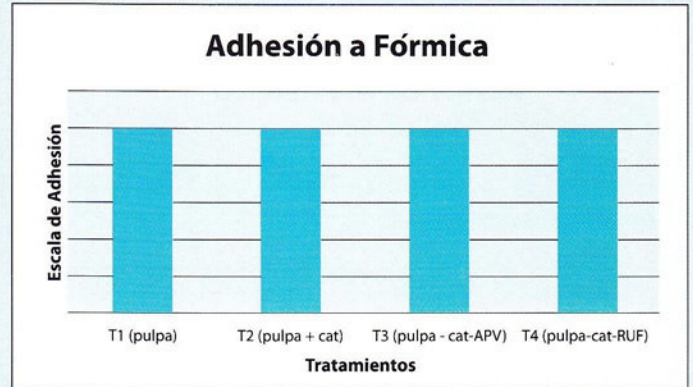
Tratamiento	Ponderación Media
T1(pulpa)	3,7
T2 (pulpa +cat)	5,0
T3 (pulpa-cat-APV)	3,7
T4 (pulpa-cat-RUF)	5,0

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 11.** Resumen datos prueba adhesión a fórmica

Tratamiento	Ponderación Media
T1(pulpa)	5
T2 (pulpa +cat)	5
T3 (pulpa-cat-APV)	5
T4 (pulpa-cat-RUF)	5

Fuente: Elaboración propia

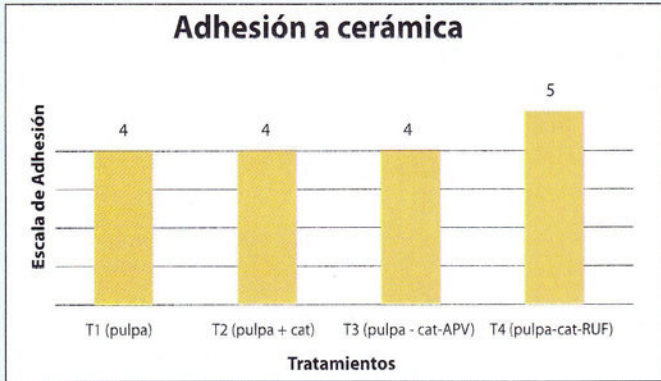


**Gráfico N° 4.** Prueba adhesión a fórmica RUF: Resina urea formaldehido APV: Acetato de polivinilo

**Tabla N° 12.** Resumen datos prueba adhesión a cerámica

Tratamiento	Ponderación Media
T1(pulpa)	4
T2 (pulpa +cat)	4
T3 (pulpa-cat-APV)	4
T4 (pulpa-cat-RUF)	5

Fuente: Elaboración propia



**Gráfico N° 5.** Prueba adhesión a cerámica  
RUF: Resina urea formaldehído  
APV: Acetato de polivinilo



**Gráfico N° 6.** Resumen datos pruebas de adhesión (madera, fórmica y cerámica)

T1 Testigo  
T2 Pulpa + catalizador  
T3 Pulpa + catalizador + laminado acetato de polivinilo  
T4 Pulpa + catalizador + laminado resina urea formaldehído

### CONCLUSIONES

El uso de pulpa de cabuya (*Fourcraea andina*) como matriz polimérica, laminada con resina urea formaldehído, mejora la resistencia a la tracción y la adhesión a superficies en tableros de materiales compuestos

El tablero con mejores condiciones en cuanto a resistencia a la tracción, impermeabilidad y adhesión, es el laminado con resina urea formaldehído. El porcentaje de resina utilizado es cercano al 36.0%; si bien es un concentración importante, es significativamente menor en comparación con el utilizado en anteriores investigaciones, donde bordeaba el 70%.

Los tableros laminados con resina UF poseen mejores características que los elaborados en mezcla directa, la resistencia a la tracción es significativamente mayor, por lo que el método de aplicación de la resina es determinante, el laminado nos permite bajar el contenido de la misma en un cincuenta por ciento, mejorando las propiedades físicas del tablero.

Si bien la utilización de fibra en la fabricación de tableros le proporciona mayor impermeabilidad, el uso de pulpa mejora la dispersión, es muy fácil de manipular y lo hace totalmente homogéneo, el producto final tiene mucha uniformidad, por lo que se puede adherir a diferentes superficies sin complicaciones.

En la fabricación de tableros y probetas, el empleo del catalizador afianzó los enlaces de hidrógeno al interior de la matriz, la unión se produce debido a la transformación del adhesivo de líquido a sólido y tiene lugar durante las variaciones térmicas y en las reacciones químicas.

Los laminados con acetato de polivinilo poseen buenas características de resistencia a la tracción, sin embargo no poseen buenas propiedades impermeabilizantes, se desintegran al contacto con el agua, lo que constituye un limitante en la aplicabilidad del material.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dirección Nacional Forestal. Ministerio del Ambiente. (2011). *Estimación de la Tasa de Deforestación del Ecuador Continental*. [en línea] disponible en: <http://simce.ambiente.gob.ec/sites/default/files/documentos/geovanna/Estimación%20de%20la%20Tasa%20de%20Deforestación%20del%20Ecuador%20Continental.pdf>
- Simbaña, A. y Mera, M. (2009). *Ensayo de Materiales Compuestos en la Elaboración de Tableros Mixtos para el Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales*. Ibarra.
- Mera, M. (2008). *Influencia de poliacrilamidas y resinas urea formaldehído*. Quito.
- Tapia, C. Paredes, C. Simbaña, A y Leao, A. (2007). *Elaboración de tableros partícula fina a partir de residuos lignocelulósicos y resinas termoestables*. [en línea] disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4759/1/7319.pdf>
- Simbaña, A. Pabón, G. (2006). *Fibras Naturales de la Provincia de Imbabura*. Ibarra.
- Norma ASTM D638-08 *Método de Prueba Estándar para Propiedades de Tracción de Plásticos*.
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). *Patentes*. [en línea] disponible en: <http://patentscope.wipo.int/search/en/search.jsf>