

# Ingeniería

Revista Semestral de la Universidad de Costa Rica

ISSN 1409-2441

Vol. 17 (1)

Ene/Jul 2007

## CONTENIDO

### Artículos

1. Dimensionamiento y costeo de una planta de lavado de vehículos recolectores de desechos sólidos para los principales cantones del Área Metropolitana de Costa Rica ..... 17-26  
Ruiz, Francisco.
2. Caracterización de los registros acelerográficos obtenidos en el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica..... 27-41  
Schmidt, Víctor; Quirós, Christopher.
3. Optimización aplicada a la calibración y validación de modelos de elementos finitos de puentes ..... 43-59  
Rodríguez, Wilson; Muñoz, Edgar; Núñez, Federico.
4. Análisis mediante modelos físicos de interacción suelo-estructura en tuberías encerradas ..... 61-76  
Rodríguez, Jorge; Ruiz, Daniel; Coral, Álvaro; Pereira, Mauricio.
5. Pasta hidrotérmica y termoquímica a la soda obtenida a partir de residuos de paste (*Luffa cylindrica Roem*) ..... 77-84  
Blanco, María Lorena.
6. Diseño y construcción de un equipo de pruebas para la determinación de la resistencia al flujo de aire en granos y semillas..... 85-96  
Aguilar, José Francisco.

### Notas técnicas

1. Prototipo didáctico para la enseñanza de la Ingeniería Estructural ..... 99-111  
Muñoz, Edgar; Núñez, Federico; Otalora, Camilo.
2. Análisis de los factores que intervienen sobre la resistencia al flujo de aire en granos y semillas en operaciones de manejo poscosecha ..... 113-124  
Aguilar, José Francisco.

### Trabajos de Graduación

Lista de proyectos de graduación de grado y posgrado del año 2006 de la Facultad de Ingeniería..... 127-140

### Normas

Normas para la presentación de artículos a la Revista Ingeniería ..... 143-150

EDITORIAL  
UCR

EDITORIAL  
UCR

Número (1)

Enero / Julio 2007

Volumen 17

REVISTA INGENIERÍA

<http://www.revistaingenieria.inii.ucr.ac.cr>  
[www.ucr.ac.cr](http://www.ucr.ac.cr) / ISSN 1409-2441

# Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica

ENERO/JULIO 2007 - VOLUMEN 17 - Número (1)



# PASTA HIDROTÉRMICA Y TERMOQUÍMICA A LA SODA OBTENIDA A PARTIR DE RESIDUOS DE PASTE (*Luffa cylindrica* Roem)

María Lorena Blanco Rojas

## Resumen

Se estudió la producción de pasta para papel a partir de residuos de paste (*Luffa cylindrica* Roem) provenientes de la fabricación de productos para baño. Se evaluaron dos procesos de pulpeo: hidrotérmico y termoquímico a la soda al 2%. Las pulpas obtenidas fueron refinadas en un refinador tipo pila holandesa hasta cuarenta y cinco grados Shopper Riegler y luego fueron caracterizadas en cuanto a sus propiedades físicas, mecánicas, ópticas y químicas.

Se encontró que las pulpas obtenidas son fáciles de refinar, presentan altas propiedades mecánicas, baja densidad aparente, baja brillantez, son de color beige claro y alta opacidad y se recomiendan para la producción de papeles especiales y para escritura. A pesar de ser una especie cuya longitud de fibra es de corta a mediana (en promedio 1305  $\mu\text{m}$ ), las hojas formadas presentan una fuerte unión fibra-fibra, lo que redundó en papeles de alta resistencia mecánica y de alta opacidad, semejantes en resistencia mecánica a las hojas de pulpa producidas con raquis de banano (*Musa Giant Cavendish*), cuya longitud de fibra es mayor a 3 000  $\mu\text{m}$ .

El estudio se enmarca dentro de la línea de investigación que mantiene el Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad de Costa Rica, en el manejo de desechos agroindustriales, con el fin de disminuir el impacto negativo al ambiente, darle un mayor valor agregado a los residuos y contribuir con las políticas de desarrollo sustentable definidas por Costa Rica.

**Palabras clave:** paste, pasta, química, termoquímica a la soda, hidrotérmica, fibra, luffa.

## Abstract

The technical feasibility of pulping and papermaking of the "paste" (*Luffa cylindrica* Roem) from waste of the production of bathroom products in Costa Rica was studied. Two pulping processes were employed to produce and characterized pulps for papermaking: hydrothermal and thermochemical with 2% soda. Characterization included physical, mechanical, optical and chemical properties.

Principal results showed high strength properties, low density, low brightness and high opacity, making the pulp suitable for papermaking fine papers, printing and packing uses. In spite of having a short to median fiber length (around 1305  $\mu\text{m}$ ), the testing Luffa sheets presented a strong fiber-fiber union, generating a high mechanical resistance, added to a light beige color and high opacity, similar in mechanical resistance to testing sheets produced with long fibres (greater than 3 000  $\mu\text{m}$ ) like banana fibres (*Musa Giant Cavendish*).

This study is one of a series of investigations led by the Laboratory of Forest Products of the University of Costa Rica looking for a better agroindustrial waste management, a decrease of the environmental impact and to reach a sustainable development as defined by Costa Rican policies.

**Key words:** pulp, non-wood fibers, luffa, hydrotermical, thermochemical.

**Recibido:** 08 de febrero del 2007 • **Aprobado:** 09 de julio del 2007

## 1. INTRODUCCIÓN

El paste es conocido en Costa Rica por el empleo de su esponja externa en la elaboración de productos de limpieza personal y doméstica, tanto para consumo interno como para exportación (Calvo et al., 1998).

La conformación de las fibras del paste en forma de un esqueleto, le permite varios usos: como esponja para baño, para manufactura de guantes de baño, como plantilla interior de calzado, para limpiadores caseros, amortiguadores de ruido para colocar bajo las alfombras, agarraderas para planchas, almohadillas para diversos usos, canastas para frutas, cepillos, carpetas de diversos tamaños y formas y cordelería (Banco Central de Honduras, 1980).

En Norteamérica y Japón, la fibra de los frutos ha demostrado ser un excelente cuerpo filtrante para los filtros de las calderas de los buques, locomotoras y grandes fábricas a vapor (Campos, 1991); se menciona su uso como filtro para piscinas, agua, aceite y otros (Quesada, 1989). Además, se sabe que los japoneses fabrican un papel de lujo para escribir a partir de las fibras y cáscaras del fruto seco (Banco Central de Honduras, 1980).

Los tallos y las hojas molidas del paste tienen uso medicinal, y se han empleado para aliviar enfermedades de la piel, hemorroides, parásitos y conjuntivitis. La savia del tallo se emplea en la elaboración de cremas de tocador. Se dice que los frutos tienen además propiedades diuréticas, emolientes y expectorantes (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1997).

La semilla posee un porcentaje de aceite considerable, que podría ser sustituto del aceite de oliva, el cual se emplea para fines dietéticos y medicinales, y como agregado a productos alimenticios (Banco Central de Honduras, 1980).

Con el fin de evaluar su potencial para la producción de celulosa y papel, mediante métodos convencionales y de fácil

aplicabilidad y amigables con el ambiente, se planteó este estudio, desde el punto de vista de investigación básica.

## 2. METODOLOGÍA

Para este proyecto de investigación se utilizó paste (*Luffa cilíndrica* Roem) cultivado en Palmitos de Naranjo, provincia de Alajuela, Costa Rica. Las fibras utilizadas son del fruto de la planta (retazos de cubiertas, secciones y centros de los frutos) y también pastes enteros de primera, segunda y tercera calidad, mezclados en iguales proporciones. La localización corresponde a 10° 06' latitud norte y 84° 26' longitud oeste, a 1000 m sobre el nivel del mar, siendo una zona con temperatura máxima de 27,8 °C y mínima de 15,1 °C, para una temperatura promedio anual de 21,4 °C y una precipitación pluvial anual de 2 364,9 mm, según el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica.

La relación líquido sólida se determinó experimentalmente utilizando paste en trozos de dos tamaños diferentes y varios volúmenes de agua, manteniéndolos en remojo por 12 h. Se definió la relación que llegara a cubrir el material con la menor cantidad de agua, estableciéndose en 61 g de agua por 1 g de paste, esto debido a lo voluminoso del material.

Se realizó un pulpeo hidrotérmico colocando 100 g de paste húmedo sin semillas, en un reactor discontinuo de 7 L, para ser pulpeado bajo las condiciones especificadas en el Cuadro 1. Además, un pulpeo químico a la soda, utilizando 95 g de paste húmedo sin semillas en un reactor discontinuo de 7 L bajo las condiciones especificadas en el mismo cuadro. Las condiciones de temperatura y tiempo de cocción, para ambos pulpeos, fueron determinadas previamente realizando diversas corridas, partiendo de valores obtenidos con fibras semejantes de las investigaciones que lleva el Laboratorio de Productos Forestales del Instituto de Investigaciones en Ingeniería, de la Universidad de Costa Rica.

**Cuadro 1.** Condiciones de pulpeo

Variable	Condiciones
<b>Pulpeo hidrotérmico</b>	
Temperatura	170 °C
Tiempo para llegar a la temperatura máxima	60 min
Tiempo de cocción	90 min
Relación sólido-líquida	1:61
<b>Pulpeo termoquímico a la soda</b>	
Temperatura	175 °C
Tiempo de impregnación	120 min
Tiempo para llegar a la temperatura máxima	45 min
Tiempo de cocción	45 min
Concentración de hidróxido de sodio	2% en masa
Relación sólido-líquida	1:61

Fuente: (Blanco, 2003).

**Cuadro 2.** Normas de ensayo utilizadas para caracterizar las pulpas obtenidas

Propiedad	Norma
Gramaje	T-410
Humedad	T-412
Espesor	T-220
Opacidad	T-425
Brillantez	T-452
Color	T-527
Resistencia a la tracción	T-494
Resistencia a la explosión	T-403
Resistencia al rasgado	T-414

Fuente: (TAPPI, 1996).

Cada pulpa obtenida se colocó en una bolsa de tela, se lavó por media hora con agua fresca, se centrifugó y se pesó. Posteriormente, se determinó la humedad y se guardó en un lugar seco y ventilado para luego someterla al proceso de refinado. Se calculó el rendimiento másico de pulpeo dividiendo la masa seca de pulpa por la masa inicial de paste y multiplicando por cien.

Con el fin de llevar las pulpas a un grado de refinado de aproximadamente 45 °SR<sub>C</sub>, cada una se refinó en un refinador tipo pila holandesa, a una consistencia promedio del 0,92 % para la pulpa a la soda y del 0,79 % para la pulpa hidrotérmica. Se obtuvieron alícuotas, por duplicado, a diferentes tiempos para determinar la consistencia y el grado de refinado, este último

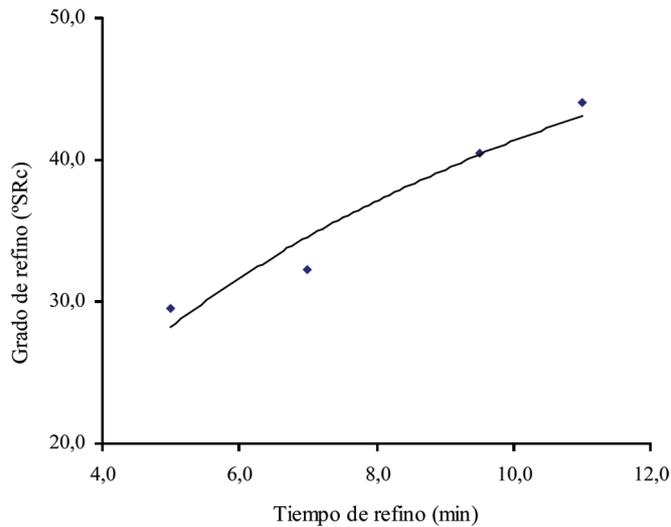
mediante el método indirecto de medición de la resistencia al drenaje Shopper-Riegler.

Los valores de grado de refinado fueron corregidos con los valores de la consistencia y expresados como resistencia al drenaje corregida (°SR<sub>C</sub>); con estos valores y el tiempo, fueron elaboradas curvas de batido para cada tipo de pulpa, las cuales se muestran en las Figuras 1 y 2. Con las pulpas refinadas se formaron las hojas de prueba de laboratorio, siguiendo el procedimiento descrito en la norma T-205 de TAPPI (1996); para dos gramajes nominales 60 g/m<sup>2</sup> y 90 g/m<sup>2</sup>.

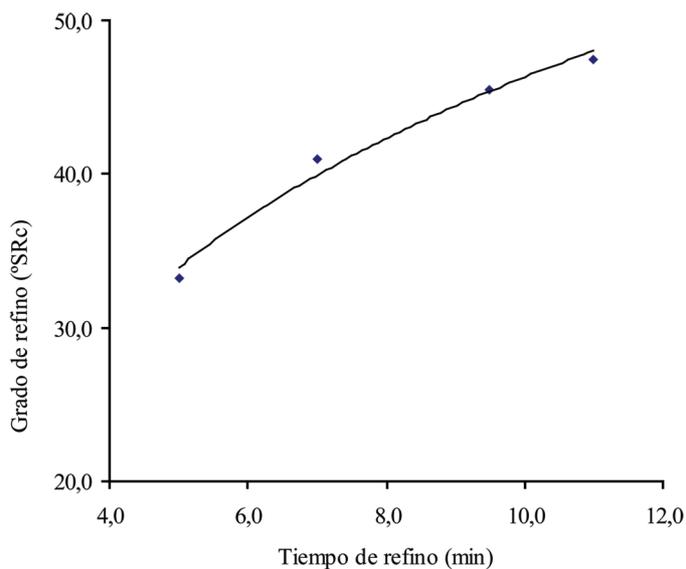
Las hojas de prueba formadas a nivel de laboratorio se acondicionaron siguiendo el procedimiento descrito en la norma T-402 y se

caracterizaron siguiendo los procedimientos descritos por TAPPI (1996), ejecutados por un técnico calificado del mismo laboratorio. La mayoría de estos ensayos están validados mediante un programa intercomparación en el que

participan el Laboratorio de Productos Forestales junto con el Instituto de Pesquisas Tecnológicas del Estado de São Paulo, Brasil, desde hace más de una década. Las propiedades y su respectiva norma se muestran en el Cuadro 2.



**Figura 1.** Curva de refino de la pulpa termoquímica a la soda, 24 °C y un 0,92 % de consistencia. Fuente: (Blanco, 2003).



**Figura 2.** Curva de refino de la pulpa hidrotérmica, a 24 °C y un 0,79 % de consistencia. Fuente: (Blanco, 2003).

**Cuadro 3.** Caracterización de las hojas de prueba de laboratorio de pulpa hidrotérmica de *Luffa cylindrica*, refinadas a 45 °SR<sub>C</sub>

Gramaje nominal	60 g/m <sup>2</sup>		90 g/m <sup>2</sup>	
	x	s	x	s
<b>Propiedades físicas</b>				
Gramaje base húmeda (g/m <sup>2</sup> )	64,19	0,18	99,96	0,06
Humedad base húmeda (%)	4,80	0,09	5,86	0,08
Espesor promedio (mm)	0,143	0,007	0,195	0,009
Densidad aparente base húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	450	45	513	47
<b>Propiedades superficiales</b>				
Permeabilidad al aire (s/50ml)	>300	--	>300	--
<b>Propiedades mecánicas</b>				
Resistencia a la explosión (kPa)	91,0	3,6	174,2	4,4
Índice de explosión (kPa•m <sup>2</sup> /g)	1,4	0,1	1,7	0,0
Resistencia a la tensión (kN/g)	1,98	0,06	3,42	0,06
Índice de tensión (N•m/g)	30,80	1,04	34,14	0,59
Longitud de ruptura (km)	3,14	0,11	3,48	0,06
Fuerza de rasgado (mN)	353,2	8,3	600,4	21,1
Índice de rasgado (mN•m <sup>2</sup> /g)	5,5	0,1	6,0	0,2
<b>Propiedades químicas</b>				
pH en frío (adimensional)	5,95	0,05	6,17	0,07
pH en caliente (adimensional)	6,24	0,04	6,14	0,01
Cenizas a 525 °C (% base seca)	1,48	0,01	1,73	0,04
Cenizas a 900 °C (% base seca)	1,51	0,04	1,76	0,05
<b>Propiedades ópticas</b>				
Opacidad fondo blanco (%)	94,4	1,7	95,2	2,4
Opacidad fondo papel (%)	98,9	1,2	100,0	1,7
Brillantez (%)	17,9	3,1	14,3	0,2
<b>Color</b>				
L (%)	56,01	0,21	55,49	0,25
a (%)	8,55	0,15	8,31	0,12
b (%)	18,63	0,23	19,04	0,21
x (%)	24,59	0,19	23,92	0,22
y (%)	23,92	0,21	23,40	0,25
z (%)	15,74	0,17	15,19	0,25

Temperatura promedio de 23,33 °C y humedad relativa promedio del 50,27 %

x: valor promedio, s: desviación estándar

Fuente: (Blanco, 2003)

**Cuadro 4.** Caracterización de las hojas de prueba de laboratorio de pulpa química a la soda de *Luffa cylindrica*, refinadas a 45° SR<sub>C</sub>

Gramaje nominal	60 g/m <sup>2</sup>		90 g/m <sup>2</sup>	
	x	s	x	s
<b>Propiedades físicas</b>				
Gramaje base húmeda (g/m <sup>2</sup> )	62,65	0,09	93,97	0,44
Humedad base húmeda (%)	5,76	0,08	6,16	0,12
Espesor promedio (mm)	0,169	0,017	0,213	0,019
Densidad aparente base húmeda (kg/m <sup>3</sup> )	372	77	441	82
<b>Propiedades superficiales</b>				
Permeabilidad al aire (s/50ml)	>300	--	>300	--
<b>Propiedades mecánicas</b>				
Resistencia a la explosión (kPa)	354,3	6,7	493,0	16,3
Índice de explosión (kPa•m <sup>2</sup> /g)	5,7	0,1	5,2	0,2
Resistencia a la tensión (kN/m)	3,96	0,10	6,25	0,12
Índice de tensión (N•m/g)	63,13	1,74	66,36	1,63
Longitud de ruptura (km)	6,44	0,18	6,77	0,17
Fuerza de rasgado (mN)	616,1	24,5	849,5	21,1
Índice de rasgado (mN•m <sup>2</sup> /g)	9,8	0,4	9,0	0,3
<b>Propiedades químicas</b>				
pH en frío (adimensional)	6,62	0,07	6,68	0,01
pH en caliente (adimensional)	7,42	0,11	7,89	0,05
Cenizas a 525 °C (% base seca)	2,26	0,02	2,35	0,02
Cenizas a 900 °C (% base seca)	2,20	0,07	2,30	0,10
<b>Propiedades ópticas</b>				
Opacidad fondo blanco (%)	88,3	2,0	96,0	4,3
Opacidad fondo papel (%)	90,8	1,3	99,4	3,2
Brillantez (%)	24,2	0,3	23,7	0,6
<b>Color</b>				
L (%)	65,41	0,19	64,84	0,42
a (%)	8,34	0,13	7,55	0,34
b (%)	15,72	0,21	15,69	0,19
x (%)	35,13	0,23	34,20	0,43
y (%)	34,55	0,24	33,85	0,53
z (%)	25,98	0,31	25,45	0,53

Temperatura promedio de 23,37 °C y humedad relativa promedio del 49, 33 %

x: valor promedio, s: desviación estándar

Fuente: (Blanco, 2003)

### 3. RESULTADOS

Las pulpas termoquímica a la soda e hidrotérmica fueron fáciles de refinar en la pila holandesa, como se observa en las Figuras 1 y 2, los tiempos empleados están cercanos a los 10 min. El rendimiento de pulpeo para el proceso hidrotérmico fue del 70,3 % en base seca, con una desviación estándar del 1,2 %; para el proceso termoquímico a la soda al 2 %, fue del 52,1 % en base seca, con una desviación estándar del 6,3 %.

Las propiedades físicas, superficiales, mecánicas, químicas y ópticas obtenidas para ambas pulpas y para los gramajes nominales de 60 g/m<sup>2</sup> y de 90 g/m<sup>2</sup> se presentan en los Cuadros 3 y 4.

### CONCLUSIONES

1. Las pulpas hidrotérmica y termoquímica a la soda de residuos de paste son fáciles de refinar en la pila holandesa, obteniéndose tiempos entre 10 min y 11 min.
2. Las hojas de laboratorio obtenidas de la pulpa hidrotérmica formadas a partir de la fibra de paste, para los gramajes nominales de 60 g/m<sup>2</sup> y de 90 g/m<sup>2</sup>, presentan densidades aparentes bajas (entre 450 kg/m<sup>3</sup> y 513 kg/m<sup>3</sup>), propiedades mecánicas altas; baja brillantez y alta opacidad; son totalmente impermeables al paso del aire.
3. Las hojas de laboratorio obtenidas de la pulpa termoquímica a la soda formadas a partir de la fibra de paste, para los gramajes nominales de 60 g/m<sup>2</sup> y de 90 g/m<sup>2</sup>, presentan bajas densidades aparentes (entre 372 kg/m<sup>3</sup> y 550 kg/m<sup>3</sup>), propiedades mecánicas muy altas; baja brillantez y alta opacidad; son totalmente impermeables al paso del aire.
4. Las hojas de pulpa termoquímica a la soda presentan propiedades mecánicas mayores a las de la pulpa hidrotérmica, prácticamente en un factor de dos; la pulpa es más blanca

y alcalina y presenta la misma opacidad y la misma permeabilidad al aire.

5. La longitud de ruptura y el índice de tensión obtenidos fueron aproximadamente tres veces mayores a los obtenidos para hojas elaboradas a partir de itabo a la soda (*Yucca elephantipes*) y eucalipto por el proceso organosolvente (Blanco & Cordero, 1991).
6. Los papeles obtenidos permiten la escritura con lápiz de grafito, con lapicero y con marcador de tinta de punta de felpa; también permiten la impresión en una impresora de inyección de tinta, de uso de oficina.
7. Se recomienda emplear la pulpa de paste para la elaboración de papeles para envolturas, escritura e impresión; en la elaboración de mezclas con pulpas de menor resistencia, con el fin de fortalecerlas.
8. Se recomienda estudiar el uso potencial de la fibra del paste en otros campos diferentes a los tradicionales: filtros naturales, refuerzo para cemento, refuerzo para fibrocemento, paneles, industria automovilista y de la aviación, entre otros.

### AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, por el apoyo financiero para la ejecución del proyecto.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blanco, M. L. (2003). Caracterización y pulpeo del residuo del paste (*Luffa cylindrica Roem*). San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Instituto de Investigaciones en Ingeniería.
- Blanco, M. L. & Cordero, R. (1991). Pulpeo de hojas de itabo (*Yuca elephantipes* Regel) creciendo en Costa Rica. *Revista Ingeniería de la Universidad de Costa Rica*, 1(2).

Calvo, A., Díaz, L. & Moreno, J. (1988). Análisis de factibilidad económica para el cultivo y la industrialización del paste en Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Administración de Negocios, Escuela de Administración de Negocios, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Campos, R. (1991). Estudio fenológico del paste (*Luffa cylindrica* Roem) en la zona de Parrita, Puntarenas. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica, Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería (1997). *Aspectos técnicos sobre el cultivo del paste (Luffa cylindrica)*, Guzmán, G. San José: Autor.

Honduras, Banco Central de Honduras. *Cultivo y procesamiento del paste*. Departamento de Investigaciones Industriales, Monografía # 4, Tegucigalpa, 1980.

Quesada, G. (1989). El paste (*Luffa cylindrica*), una alternativa de exportación. *Guía Agropecuaria de Costa Rica*, 14.

TAPPI. (1996). TAPPI Test Methods 1996-1997. Atlanta: TAPPI.

## **SOBRE LA AUTORA**

### **María Lorena Blanco Rojas**

Licenciatura en Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica.

*Magister Scientiae* en Ciencia y Tecnología de la Madera, con especialidad en Celulosa y Papel de la Universidad de São Paulo, Brasil.

Profesora catedrática de la Escuela de Ingeniería Química a nivel de grado y de posgrado.

Investigadora del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica.

Teléfono: (506) 207-5354

Facsímil: (506) 224-2619

Apartado postal: 36-2060 San José, Costa Rica.

Correo electrónico: lorena@inii.ucr.ac.cr