

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/28249753>

Influencia de factores de la reacción de oxidación de lignina sobre la adsorción de metales

ARTICLE

Source: OAI

READS

243

7 AUTHORS, INCLUDING:



[Germán Camilo Quintana](#)

Universidad Pontificia Bolivariana

21 PUBLICATIONS 116 CITATIONS

SEE PROFILE



[George Jackson de Moraes Rocha](#)

Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologi...

64 PUBLICATIONS 1,115 CITATIONS

SEE PROFILE



[Adilson Roberto Goncalves](#)

National Council for Scientific and Technolo...

85 PUBLICATIONS 1,054 CITATIONS

SEE PROFILE

INFLUENCIA DE FACTORES DE LA REACCIÓN DE OXIDACIÓN DE LIGNINA SOBRE LA ADSORCIÓN DE METALES

Germán Quintana^{*†}, George Rocha^{**}, Jorge Velásquez^{*}, Andrea Barbosa^{**}, Elizabeth Henao^{*}, Chris Castro^{*}, Adilson Gonçalves^{**}

^{*}Universidad Pontificia Bolivariana, Cq. 1 #70-01, of. 11-259, Medellín, Colombia,

^{**}Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Rodovia Lorena - Itajubá, km 74,5, Lorena-SP, Brasil

Recibido 10 Noviembre 2008; aceptado 10 Diciembre 2008

Disponible en línea: 17 Diciembre 2008

Resumen: Para incrementar la capacidad de adsorción de la lignina se oxida con H₂O₂. Se utiliza la técnica del diseño de experimentos mediante un diseño del tipo Plackett-Burman (2^{6*3/16}) con 4 puntos al centro y las variables de respuesta son el porcentaje de remoción de Ni(II) y Cd(II). Las ligninas se caracterizan físicoquímicamente y mediante espectroscopia FTIR. Los valores de los factores para las mejores remociones son: masa de lignina, 4,0 g; volumen de agua, 60,0 mL; volumen de H₂O₂, 20,0 mL; volumen de catalizador, 0,3 mL; Tiempo de reacción, 1,5 hr y Flujo de H₂O₂, 0,5 mL/min. Copyright © 2007 UPB.

Abstract: In order to increase metal adsorption capacity, lignin was oxidised with H₂O₂. A Plackett-Burman design (2^{6*3/16}) with 4 central points was created, the response variables are the Ni(II) and Cd(II) remove percentage. The lignin was characterized physicochemical and by FTIR spectroscopic method. The values of factors for the best removal capacity are: mass of lignin, 4.0; wáter volumen, 60.0 mL; H₂O₂ volumen, 20 mL, catalyst volumen, 0.3 mL; time reaction, 1.5 hr and H₂O₂ flow, 0.5 mL/min.

Keywords: lignin, metal adsorption,

1. INTRODUCCIÓN

La adsorción de iones metálicos en materiales lignocelulósicos, así como en el carbón activado obtenido a partir de ellos, se perfila como una buena alternativa a los tratamientos biológicos y químicos tradicionales; en los últimos años se han

realizados ensayos al respecto, en torres empacadas y tanques agitados, encontrándose que iones de metales como Pb, Cu, Zn, Cr, Fe, Ni y Cd, entre otros, han sido removidos con eficiencias entre el 50 y el 100%, de manera que los materiales adsorbentes empleados se comportaron por lo menos igual, y muchas veces

[†] Autor al que se le dirige la correspondencia:

Tel. (+574) 4159020 ext 9582, fax 4118779.

E-mail: german.quintana@upb.edu.co (Germán Quintana).

mejor, que los carbones activados comerciales (Srivastava et al., 1994; Basso et al., 2000; Lalvani et al., 2000; Basso et al., 2001; Basso et al., 2002; Dupont y Guillon, 2003; Gonzalez-Serrano et al., 2004; Sciban y Klasnja, 2004; Pérez et al., 2006; Guo et al., 2008). Se ha observado además que esta tecnología puede ser más económica y más amigable con el medio ambiente que las usadas tradicionalmente para la remoción de metales de efluentes líquidos.

La oxidación de la lignina con peróxido de hidrógeno tiene una gran aplicación en los procesos de blanqueo de pulpa de alto rendimiento (Casey, 1990). La oxidación que se realiza con peróxido ocurre por diversas rutas. El peróxido de hidrógeno es un oxidante fenólico que actúa como un electrófilo en medio ácido y como nucleófilo en medio alcalino (Kadla y Chang, 2001). Como electrófilo sus mecanismos de reacción son similares a los de los ácidos paracéticos, la reacción sobre el anillo aromático permite la formación de quinonas (Sarkanen y Ludwing, 1971) y si continúa se da el rompimiento del anillo aromático y la producción de ácidos dicarboxílicos de bajo peso molecular (Casey, 1990). Sin embargo las reacciones del peróxido de hidrógeno en medio ácido no son bien conocidas (Kishimoto et al., 2003).

Este trabajo busca modificar químicamente lignina precipitada del licor negro del pulpeo del bagazo de la caña de azúcar para incrementar su capacidad de adsorción de iones de Ni(II) y Cd(II). La modificación química consiste en oxidar con peróxido de hidrógeno para incrementar sus grupos carboxílicos y carbonilos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Separación de la lignina del licor negro del pulpeo a la sosa del bagazo de azúcar

El licor negro que será usado para la obtención de la lignina se suministra por PROPAL S.A. que es una empresa colombiana que produce pulpa para papel a partir bagazo de caña de azúcar. El licor se acidifica con H₂SO₄ al 98% hasta llegar a un valor de pH de 2 obteniéndose una suspensión de lignina. La lignina se filtra y lava con agua corriente hasta eliminar el exceso de ácido y sustancias solubles en agua. La lignina se seca en un horno de convección forzada a 60°C.

2.2. Oxidación de la lignina

La reacción de oxidación se realiza de la siguiente manera. A 100 mL de agua le es adicionada una masa conocida de lignina y un determinado de catalizador. La mezcla se coloca en un balón de 250 mL de dos bocas conectado a un condensador para generar reflujo y calentada hasta ebullición, momento en el cual se comienzan a adicionar, a velocidad constante, una cantidad de peróxido de hidrógeno al 35%. La reacción ocurre hasta el tiempo de consigna.

El licor resultante se filtra para separar la lignina oxidada y se lava con agua destilada hasta eliminar el exceso de peróxido y el catalizador. Las ligninas se secan en una estufa a 65°C y se evalúa el efecto de la oxidación mediante la cantidad de metal removido por gramo de lignina y el rendimiento global obtenido.

Para optimizar la reacción de oxidación se utiliza la técnica del diseño de experimentos mediante un diseño del tipo Plackett-Burman (2^{6*3/16}) con 4 puntos al centro para un total de 16 ensayos.

Tabla 1. Factores del diseño de experimentos

Factor	Nivel inferior	Nivel superior
Masa de lignina	4,0 g	6,0 g
Volumen de agua	40,0 mL	60,0 mL
Volumen de peróxido	20,0 mL	30,0 mL
Volumen de catalizador	0,3 mL	0,7 mL
Tiempo total de reacción	1,5 hr	2,5 hr
Flujo de adición de peróxido	0,5 mL/min	1,0 mL/min

2.3. Hidrólisis ácida de la lignina

Aproximadamente 2 gr de lignina con humedad conocida puestos en contacto con 10 mL de ácido sulfúrico 72% y agitación constante, en un baño de termostático a 45°C ± 0,5 °C durante 7 minutos. La reacción se interrumpe con la adición de 50 mL de agua destilada. La muestra se transfiere de forma cuantitativa de a un erlenmeyer adicionando otros 225 mL de agua destilada. Para completar la hidrólisis de los oligómeros restantes, el erlenmeyer se tapa con papel aluminio y se lleva a una autoclave a 121°C durante 30 minutos. La suspensión resultante se

enfría a temperatura ambiente y luego se filtra en un embudo y papel de filtración rápida. El filtrado resultante durante la hidrólisis ácida se lleva a un balón volumétrico y se afora a 500 mL con agua destilada, muestras de este filtrado serán usadas para la determinación de la cantidad de lignina soluble en ácido y carbohidratos.

2.3.1. Lignina Klason

La lignina insoluble se lava con 1,5 L de agua destilada para la eliminación del ácido residual y posteriormente secada hasta peso constante, siendo este el valor correspondiente a la lignina insoluble en ácido (Lignina Klason).

2.3.2. Lignina soluble en ácido

Una muestra del filtrado se diluye con agua destilada en una relación de 1:10 y posteriormente se alcaliniza con NaOH 6 N hasta alcanzar un pH 12. La absorbancia de la solución se mide a una longitud de onda de 250 nm. Para encontrar el valor de la absorptividad son preparadas soluciones de lignina en agua con pH 12 y determinadas su absorbancia.

2.3.3. Concentración de carbohidratos, furfural e hidroximetilfurfural

Una muestra del hidrolizado se ajusta a pH 2 y se pasa por un cartucho de extracción sólida Sep-Pak C18 (Waters), para la remoción de compuestos aromáticos y analizado por medio de HPLC, empleando una columna Aminex HPX-87H (Bio-Rad Laboratories Ltd) a 45°C y con H₂SO₄ 0,01 N como fase móvil a un flujo de 0,6 mL/min. Las concentraciones de celobiosa, ácido glucurónico, glicosa, xilosa, arabinosa e ácido acético son determinadas a partir de curvas de calibración con estándares analíticos. Para cuantificar el furfural e hidroximetilfurfural, la muestra de hidrolizado se filtra en un cartucho de porosidad de 20 µm y posteriormente se inyecta en una columna C18 (SPHRIS-ORB) a temperatura ambiente con fase móvil de acetonitrilo/agua 1:8 con 1% de ácido acético y un flujo de 0,8 mL/min.

2.4. Cenizas

Aproximadamente 2 gr de lignina con humedad conocida son pesados en un crisol de porcelana

previamente calcinado a 800°C y pesado. La lignina es calcinada inicialmente a 300°C por una hora y por más de dos horas a 800°C. Después de la calcinación el crisol es enfriado y pesado

2.5. Grupos funcionales

2.5.1. OH fenólicos

Entre 0,2 y 0,3 gr. de lignina son suspendidas en 10 mL de etanol y sometidos a agitación magnética. Posteriormente se adicionan 5 mL de acetona y 15 mL de agua destilada, ocurriendo la formación de una suspensión fina de lignina. La suspensión se burbujea con nitrógeno por 5 minutos y se titula con LiOH 0,01 N. El volumen de equivalencia se determina mediante el gráfico de conductividad vs volumen de titulante.

2.5.2. Ácidos totales

0,3 gr de lignina son mezclados con 30 mL de bicarbonato de sodio 0,1N durante 30 minutos con agitación constante. Posteriormente la mezcla se filtra y el bicarbonato de sodio residual se titula potenciométricamente con ácido clorhídrico 0,1N. El volumen de equivalencia se determina graficando pH vs. volumen de titulante. Todo el procedimiento se realiza sin presencia de lignina para la obtención de un blanco.

2.6. Análisis mediante espectroscopia FT-IR

Aproximadamente 1,5 mgr de lignina seca son mezclados con 250 mgr de KBr seco y macerados. La mezcla es colocada durante una noche a 60°C y posteriormente llevadas a 105°C durante dos horas más. La lignina es dejada enfriar en un desecador con P₂O₅ para luego hacer pastillas a una presión entre 10 y 12 Kgrf/cm² bajo vacío. Los espectros fueron construidos los espectros en la región de 4000 a 400 cm⁻¹ en un espectrofotómetro NICOLET AVATAR 320 FT-IR.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 2 muestra la caracterización de la lignina técnica obtenida, presenta una alta cantidad de carbohidratos que precipitaron conjuntamente con la lignina durante la acidificación del licor negro.

El alto contenido de xilosa se corresponde con lo reportado para el bagazo de caña, el cual tiene como su principal hemicelulosa la xilana. La ceniza es de un color blanco y está principalmente compuesta por óxidos de silicio, el cual está presente en el bagazo de caña.

La alta cantidad de azúcares explica el bajo rendimiento obtenido durante la oxidación pues la reacción es llevada en medio ácido y su hidrólisis se facilita.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de la lignina

Componente	Porcentaje en peso
Lignina Klason	62,15 ± 0,22
Lignina soluble en ácido	3,98 ± 0,20
Celubiosa	0,95 ± 0,008
Ácido Glucorónico	0,45 ± 0,003
Glucosa	1,35 ± 0,01
Xilosa	26,03 ± 0,11
Arabinosa	2,28 ± 0,01
Furfural	1,06 ± 0,02
Hidroximetilfurfural	0,023 ± 0,001
Total	98,26 ± 0,32
Otras propiedades	
Cenizas totales	4,17 ± 0,03
Cenizas de Klason	2,77 ± 0,09
Humedad	7,08 ± 0,04

3.1. Oxidación de la lignina y su efecto en la adsorción

En la tabla 3 se puede observar el diseño de experimentos construido para la oxidación.

Tabla 3. Diseño de experimentos para la oxidación de lignina

Exp.	Masa Lig.	Vol. Agua	Vol. H ₂ O ₂	Vol. HCl	Tiempo Rxn	Flujo H ₂ O ₂
1	5	50	25	0,5	2	0.75
2	4	60	30	0,3	2,5	0.5
3	6	60	30	0,3	2,5	1
4	6	40	30	0,3	1,5	0.5
5	4	40	30	0,7	2,5	0.5
6	6	40	20	0,3	2,5	1
7	6	40	30	0,7	1,5	1
8	4	60	20	0,3	1,5	1
9	5	50	25	0,5	2	0.75
10	6	60	20	0,7	2,5	0.5

11	4	40	20	0,3	1,5	0.5
12	5	50	25	0,5	2	0.75
13	4	60	30	0,7	1,5	1
14	4	40	20	0,7	2,5	1
15	5	50	25	0,5	2	0.75
16	6	60	20	0,7	1,5	0.5

Para cada una de las variables de respuesta se realizó un análisis de varianza de forma independiente, con el fin de estudiar el efecto de los factores y, de ser posible, encontrar los valores de los factores que las optimizaban. Para ello, se utilizaron los métodos estadísticos del diseño de experimentos mediante el empleo del Statgraphics Plus 5.0. Todas las pruebas de hipótesis se han realizado a un nivel de confianza del 90% debido a la alta variabilidad en la estructura de la materia prima.

Solo tres de los factores mostraron influencia estadística significativa: volumen de agua, tiempo total de reacción y volumen de catalizador, [Fig 1.](#)

Tanto el tiempo y el volumen de catalizador presentan un efecto inverso sobre la capacidad de adsorción, esto implica que sus valores deben ser ajustados en su nivel inferior. Durante la oxidación ocurre el rompimiento de la cadena de lignina pero una excesiva degradación hace que los grupos de alta densidad electrónica (especialmente quinonas) reaccionen para volver a repolimerizar y así crear una molécula menos reactiva debido a que las uniones se dan por los puntos más reactivos que coinciden con los grupos de densidad electrónica alta.

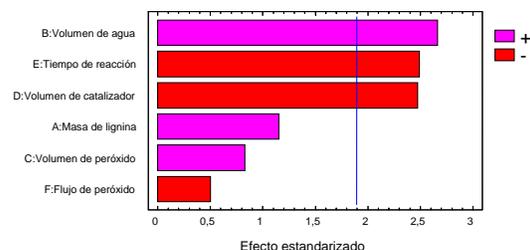


Fig. 1. Diagrama estandarizado de Pareto para la adsorción de Cd(II)

El volumen de agua debe ajustarse en su nivel superior debido a que así se facilita la dispersión del material y la difusión de los reactivos en el interior de las partículas de lignina.

Para la adsorción de Ni(II) solo dos de los factores presentan influencia estadística significativa: volumen de catalizador y masa de lignina, [Fig. 2](#). Al igual que para la adsorción de Cd(II), el volumen de catalizar tiene un efecto inverso sobre la adsorción del metal siendo necesario ajustarlo en su nivel inferior para maximizar la remoción. La masa de lignina debe estar en su nivel inferior, esto puede deberse a que los carbohidratos consumen parte del peróxido adicionado para hidrolizarse a sus monómeros y otros productos de degradación.

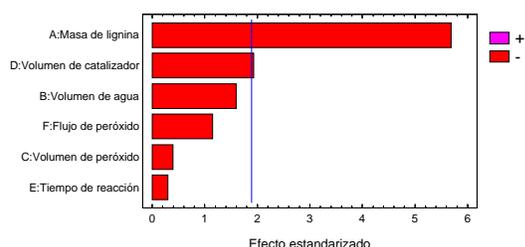


Fig. 2. Diagrama estandarizado de Pareto para la adsorción de Ni(II)

En conclusión los valores óptimos de los factores para obtener las mejores propiedades de la lignina para la remoción de metales pesados son:

- Masa de lignina: 4,0 g
- Volumen de agua: 60,0 mL
- Volumen de peróxido: 20,0 mL
- Volumen de catalizador: 0,3 mL
- Tiempo total de reacción: 1,5 hr
- Flujo de peróxido: 0,5 mL/min

3.2. Análisis FTIR y grupos funcionales

Las ligninas presentan espectros típicos para este tipo de material ([Fig. 3](#)), presentando bandas de absorción alrededor de 1510 cm^{-1} , este pico de absorción corresponde a absorción de anillos aromáticos, lo cuales están presentes en la lignina y es el pico característico para ellas. Un análisis simple de los espectros muestra pocas diferencias entre los espectros, encontrándose algunas diferencias la intensidad de la absorción a longitudes de onda de 1034 cm^{-1} (deformación de enlaces C-H y C-O de alcoholes primarios,

estiramiento de enlaces C=O en sistemas no conjugados), 1220 cm^{-1} (Vibración de C-C, C-O y estiramiento de enlaces C=O; condensación de grupo guayacilo), 1335 cm^{-1} (condensación entre grupo guayacilo y siringilo), 1421 cm^{-1} (Vibración de anillo aromático combinada con deformación planar de C-H) y 1710 cm^{-1} (estiramiento C=O no conjugado en cetonas, grupos carbonilos y ésteres).

La tabla 4 presenta las principales bandas de adsorción de la lignina en espectros IR.

Tabla 4. Bandas presentes en las ligninas originales

Posición (cm-1)	Origen de la banda
3412-3012	Estiramiento H
2850-3006	Estiramiento C-H en grupos metil y metilenos
1710	Estiramiento C=O no conjugado en cetonas, grupos carbonilos y ésteres presentes en carbohidratos
1594-1613	Vibración de anillo aromático y estiramiento C=O
1513	Vibración en el anillo aromático
1460	Deformación del enlace C-H y asimetría CH ₃ y -CH ₂ -
1421	Vibración del anillo aromático combinada con deformación en el plano de C-H
1375	Vibración OH fenólico y estiramiento C-H en CH ₃ ;
1330	Vibración de enlace R-SO ₂ -OR
1330	Vibración del anillo Siringilo y anillo Guayacilo condensado;
1262	Vibración del anillo Guayacilo y estiramiento C=O
1220	Estiramiento enlaces C-C, C-O y C=O
1116	Deformación C-H típica de unidades Guayacilos
1082	Deformación C-O en alcoholes secundarios y éteres alifáticos
1034	Deformación de C-H aromático; deformación fuera del plano de C-O
830-902	Deformación fuera del plano de enlace C-H; vibración de aromáticos y -N-Si-N-

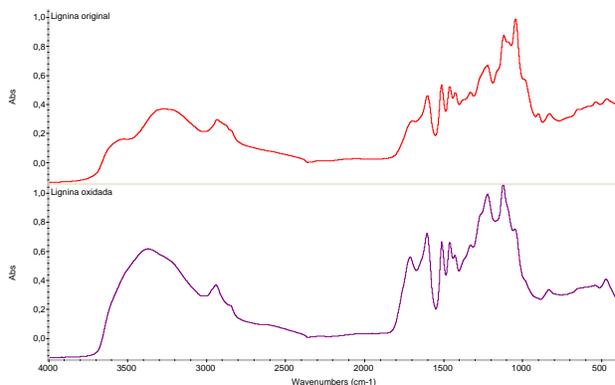


Fig. 3. Espectros IR de las ligninas.

La oxidación implica la pérdida de grupos fenólicos creando grupos carboxílicos, tabla 5, lo que confirma que los tiempos de reacción utilizados son suficientes para la romper el anillo aromático.

Tabla 2. Cambio en los grupos de alta densidad electrónica por efecto de la oxidación

Grupo funcional	Lignina original	Lignina Oxidada
Ácidos totales (%)	0,02 ± 0,005	0,06 ± 0,006
OH fenólicos (%)	0,17 ± 0,01	0,11 ± 0,02

4. CONCLUSIONES

La oxidación incrementa la capacidad de adsorción de la lignina por la presencia de grupos ácidos en la estructura de la molécula.

Los grupos ácidos tienen una mayor afinidad por los iones metálicos que los grupos fenólicos, mayor acidez implica una mayor tendencia a la adsorción de iones de Ni(II) y Cd(II).

AGRADECIMIENTO

- Programa ALFA, proyecto LIGNOCARB (ALFA II 0412 FA FI).
- Colciencias, apoyo a doctorados nacionales año 2005.
- CIDI - UPB, Proyecto 888-05/06-21.

REFERENCIAS

- Basso, M.; Cerrella, E.; Cukierman, A. (2000). Remoción de cadmio(II) de soluciones acuosas mediante carbón activado preparado a partir de caña. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, **4**:09.01-09.06.
- Basso, M.; Cerrella, E.; Cukierman, A. (2001). Tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados mediante carbones activados obtenidos de un precursor renovable. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, **5**:09.01-09.06.
- Basso, M.; Cerrella, E.; Cukierman, A. (2002). Activated carbons developed from a rapidly renewable biosources for removal of cadmium(II) and nickel(II) ions from dilute aqueous solutions. *Industrial engineering chemistry research*, **41**:180-189.
- Casey, J. (1990). *Pulpa y papel: química y tecnología química, volumen 1*. Limusa, México D.F.
- Dupont, L.; Guillon, E. (2003). Removal of hexavalent chromium with a lignocellulosic substrate extracted from wheat bran. *Environmental science and technology*, **37**: 4235-4241.
- Gonzalez-Serrano, E. et al. (2004). Removal of water pollutants with activated carbon prepared from H₃PO₄ activation of lignin from kraft black liquors. *Water research*, **38**: 3043-3050.
- Guo, X.; Shuzhen, Z.; Shan, X. (2008). Adsorption of metal ions on lignin. *Journal of hazardous materials*, **151**:134-142.
- Kadla, J. y Chang, H. (2001). *The reactions of peroxides with lignin and lignin model compounds*. En: *Oxidative delignification chemistry: fundamentals and catalysis*. (D. Argyropoulos (Ed). 20 p. American Chemical Society, Washington.
- Kishimoto, T et al. (2003). The reactions of lignin model compounds with hydrogen peroxide at low pH. *Holzforchung*, **57**:52-58.
- Lalvani, S.; Hübner, A.; Wiltowski, T. (2000). Chromium adsorption by lignin. *Energy sources*, **22**:45-56.
- Pérez, N.; Rincón, G.; Delgado, L. (2006). Use of biopolymers for the removal of heavy metals produced by the oil industry – a feasibility study. *Adsorption*, **12**:279-286.
- Sarkanen, K. y Ludwing, C. (1971). *Lignins: occurrence, formation, structure and reactions*. Wiley, New York.

Sciban, M.; Klasnja, M. (2004). Study of the adsorption of copper(II) ions from water onto Wood sawdust, pulp and lignin. *Adsorption science and technology*, 22:195-206.

Srivastava, S.; Singh, A.; Sharma, A. (1994). Studies on the uptake of lead and zinc by lignin obtained from black liquor – a paper industry waste material. *Environmental technology*, 15:353-361.

SOBRE LOS AUTORES

Germán Quintana

Profesor Asociado de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. Ingeniera Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. Maestro en Sistemas Energéticos, graduado de la Universidad de Pontificia Bolivariana. Candidato a Doctorado en Ingeniería, de la Universidad Pontificia Bolivariana. Áreas de interés investigativo: Pulpa y Papel, Tecnología de partículas.

George Rocha

Profesor de la Escola de Engenharia de Lorena de la Universidad de São Paulo. Ingeniero Industrial Químico de la Faculdade de Engenharia Química de Lorena. Maestro en Tecnología Bioquímico-Farmacéutica de la Universidad de São Paulo. Doctor en Físico-Química de la Universidad de São Paulo. Áreas de interés investigativo: Conversión de biomasa vegetal, Aprovechamiento de residuos agrícolas, obtención de insumos químicos dentro del concepto de biorrefinería.

Jorge Velásquez

Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. Ingeniero Químico de la Universidad Pontificia Bolivariana. Maestro en Ciencias Forestales, graduado de la Universidad de Guadalajara. Doctor en Ingeniería Química de la Universitat Rovira i Virgili. Áreas de interés investigativo: Pulpa y Papel, Simulación de procesos químicos.

Andrea Barbosa

Estudiante de la Facultad de Ingeniería Química de la Escola de Engenharia de Lorena – USP.

Áreas de interés investigativo: Modificación química de biomasa.

Elizabeth Henao

Estudiante de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. Áreas de interés investigativo: Pulpa y Papel.

Chris Castro

Estudiante de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. Áreas de interés investigativo: Pulpa y Papel.

Adilson Gonçalves

Profesor Asistente de la Escola de Engenharia de Lorena de la Universidad de São Paulo. Químico de la Universidad de Campinas. Maestro en Química de la Universidad de Campinas. Doctor en Química de la Universidad de Campinas. Posdoctor de la Faculdade de Engenharia Química de Lorena. Áreas de interés investigativo: Conversión de biomasa vegetal, Aprovechamiento de residuos agrícolas, obtención de insumos químicos dentro del concepto de biorrefinería.