

ISSN 2410-3934

Revista de Energía Química y Física

Volumen 2, Número 2 — Enero — Marzo -2015

ECORFAN[®]

Bases de datos

Google scholar.



ECORFAN[®]

ECORFAN-Bolivia

Directorio

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María, PhD.

Director Regional

SERRUDO-GONZALES, Javier, BsC.

Director de la Revista

ESPINOZA-GÓMEZ, Éric, MsC.

Relaciones Institucionales

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando, BsC.

Edición de Logística

DAZA-CORTEZ, Ricardo, BsC.

Diseñador de Edición

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra, BsC.

Revista de Energía Química y Física, Volumen 2, Número 2, de Enero a Marzo -2015, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Bolivia. Santa Lucía N-21, Barrio Libertadores, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia. WEB: www.ecorfan.org, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: Ramos Escamilla-María, Co-Editor: Serrudo González-Javier. ISSN-2410-3934. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. Escamilla Bouchán- Imelda, Luna Soto-Vladimir, actualizado al 31 de Marzo 2015.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Consejo Editorial

PEREZ-Y-PERAZA, Jorge, PhD.
Centre National de Recherche Scientifique,
France

GONZALEZ-ALVARADO, Juan Manuel, PhD.
Universidad Politecnica de Madrid, Spain

AVENDAÑO-ARRAZATE, Carlos Hugo, PhD.
Universidad de Lerida, Spain

MENDEZ-MEDINA, Ruben Danilo, PhD.
University of Bristol, England

ESCAMILLA-GARCIA, Erandi, PhD.
University of Burgundy, France

FERNANDEZ-PALACIN, Fernando, PhD.
Universidad de Cadiz, Spain

CARBAJAL-DE-LA-TORRE, Georgina, PhD.
Université des Sciences de Lille 1, France

VALENZUELA, Miguel, PhD.
ESIQIE – IPN, Mexico

Consejo Arbitral

MENA-VIOLANTE, Hortencia Gabriela, PhD.
Instituto Politecnico Nacional, Mexico

PÉREZ-ROBLES, Juan Francisco, PhD.
CINVESTAV-IPN, Mexico

MARTÍNEZ-RIVERA, Maria de los Angeles, PhD.
Escuela Nacional de Ciencias Biologicas-IPN,
Mexico

GARCÍA-ORTEGA, Héctor, PhD.
Facultad de Quimica, UNAM, Mexico

ARMADO-MATUTE, Arnaldo José, PhD.
Universidad de Carabobo, Venezuela

LUNA-PALOMERA, Carlos, BsC.
Universidad Juarez Autonoma de Tabasco,
Mexico

SOLÓRZANO-MATA, Carlos Josue, PhD.
Universidad Autonoma Benito Juarez de Oaxaca,
Mexico

MARQUEZ-RIQUEL, Maria Auxiliadora, MsC.
Universidad Nacional Experimental Politecnica
de la Fuerza Armada Bolivariana, Venezuela

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en las áreas de: Energía Química y Física

En Pro de la Investigación, Enseñando, y Entrenando los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión de la Editor en Jefe.

En el primer número es presentado el artículo *Evaluación de la actividad antibacteriana del extracto de Rhoeo Discolor (Barquilla)* por SANDOVAL, Francisca, HERNANDEZ, Lorena, HERNANDEZ, Diana, FLORES, Adiel y CONTRERAS, Raúl, como segundo artículo está *Caracterización térmica de silicatos de circonio modificado con azufre* por ESTEBAN, Heriberto, GARCÍA, Ricardo, RAMOS, Claudia Esmeralda, ROBLES, Sergio, SANDOVAL, Guillermo, ARREGOITIA, Ma. Isabel y PARAGUAY, Francisco, como tercer capítulo está ***Descomposición fotocatalítica de fenoles clorado*** por SANDOVAL, Guillermo, RAMOS, Claudia Esmeralda, LÓPEZ, Diego Alejandro, GARCÍA, Ricardo y ARREGOITIA, María Isabel, como cuarto capítulo está *Estudio hidrodinámico de un reactor de lecho fluidizado en paralelo con diferentes configuraciones* por JUÁREZ, Ana, ALVARADO, Arturo, VALLEJO, Norma y ALVARADO, Alejandro, como quinto artículo está *Estudio de la incorporación de agregados pétreos en resinas para concreto polimérico* por ORTEGA, Jesús, CAMARGO, Tania, SÁNCHEZ, Cindy y LEÓN, Yolanda.

Contenido

Artículo	Página
Evaluación de la actividad antibacteriana del extracto de Rhoecydiscus (Barquilla) <i>SANDOVAL, Francisca, HERNANDEZ, Lorena, HERNANDEZ, Diana, FLORES, Adiel y CONTRERAS, Raúl</i>	271-277
Caracterización térmica de silicatos de circonio modificado con azufre <i>ESTEBAN, Heriberto, GARCÍA, Ricardo, RAMOS, Claudia Esmeralda, ROBLES, Sergio, SANDOVAL, Guillermo, ARREGOITIA, Ma. Isabel y PARAGUAY, Francisco</i>	278-282
Descomposición fotocatalítica de fenoles clorados <i>SANDOVAL, Guillermo, RAMOS, Claudia Esmeralda, LÓPEZ, Diego Alejandro, GARCÍA, Ricardo y ARREGOITIA, María Isabel</i>	283-287
Estudio hidrodinámico de un reactor de lecho fluidizado en paralelo con diferentes configuraciones <i>JUÁREZ, Ana, ALVARADO, Arturo, VALLEJO, Norma y ALVARADO, Alejandro</i>	288-294
Estudio de la incorporación de agregados pétreos en resinas para concreto polimérico <i>ORTEGA, Jesús, CAMARGO, Tania, SÁNCHEZ, Cindy y LEÓN, Yolanda</i>	295-300
<i>Instrucciones para Autores</i>	
<i>Formato de Originalidad</i>	
<i>Formato de Autorización</i>	

Evaluación de la actividad antibacteriana del extracto de *Rhoeo discolor* (Barquilla)

SANDOVAL, Francisca*†, HERNANDEZ, Lorena, HERNANDEZ, Diana, FLORES, Adiel y CONTRERAS, Raúl

Recibido 12 de Enero, 2015; Aceptado 2 de Marzo, 2015

Resumen

La enorme aplicación de las plantas medicinales con fines terapéuticos crea la urgente necesidad de realizar estudios científicos, con el objetivo de conocer los metabolitos contenidos en las especies para su aplicación. El estudio fitoquímico de plantas aromáticas, reveló que el alto contenido de monoterpenos en sus aceites esenciales, eran los causantes de la acción medicinal, ya que estos compuestos casi en su mayoría presentan acción bactericida y también actúan como sedantes en el aparato digestivo. En los últimos años se han descubierto que existen otras familias de plantas que aunque no se caracterizan por ser "aromáticas" si poseen propiedades medicinales muy notorias en el tratamiento de enfermedades del aparato digestivo, entre otros ejemplos es el caso de la familia Commelinaceae. En la región de Veracruz fácilmente se puede obtener la especie de *Rhoeo discolor*, por lo que resulta muy factible su evaluación, ya que por usos y costumbres los indígenas le atribuyen características antiinflamatorias y antibactericidas, así como diferentes investigadores han realizado estudios de actividad biológica como es el caso del Dr. Miguel Ángel Domínguez Ortíz en quien está basada esta investigación. En el presente trabajo de investigación se realizó la evaluación antibacteriana de la especie antes mencionada cultivada en esta región, así mismo se caracterizó químicamente mediante cromatografía de alta resolución HPLC y espectroscopia en región infrarroja FTIR, con ello se identificaron los metabolitos secundarios que le confiere la propiedad antimicrobiana en bacterias Gram Negativas como lo son: *Escherichia Coli*, *Pseudomonas Aeruginosa*, *Klebsiella Pneumoniae* y *Proteus Mirabilis*.

Antimicrobiano, Evaluación, metabolitos

Citación: SANDOVAL, Francisca, HERNANDEZ, Lorena, HERNANDEZ, Diana, FLORES, Adiel y CONTRERAS, Raúl. Evaluación de la actividad antibacteriana del extracto de *Rhoeo discolor* (Barquilla). Revista de Energía Química y Física 2015, 2-2: 271-277

Abstract

The massive application of medicinal plants for therapeutic purposes creates the urgent need for scientific studies, in order to meet the metabolites contained in the species for its implementation. The phytochemical study of herbs, revealed that the high content of monoterpenes in essential oils, were the cause of the medicinal action, since these compounds have almost entirely bactericidal action and also act as sedatives in the digestive tract. In recent years have found that there are other families of plants but are not characterized as "aromatic" if they have very prominent medicinal properties in the treatment of digestive diseases, among other examples is the case of Commelinaceae family. In the region of Veracruz can easily get the kind of *Rhoeo discolor*, so it is very feasible evaluation, since by custom indigenous attributed inflammatory and antibactericidas characteristics and different researchers have conducted studies of biological activity is the case of Dr. Miguel Ángel Domínguez Ortiz who is based in this research. In the present investigation the antibacterial evaluation of the above species cultivated in this region was performed, also was chemically characterized by high performance liquid chromatography HPLC and spectroscopy in infrared region FTIR, thereby secondary metabolites that confers identified the antimicrobial property in Gram negative bacteria such as: *Escherichia Coli*, *Pseudomonas Aeruginosa*, *Klebsiella Pneumoniae* y *Proteus Mirabilis*.

Antimicrobial, Evaluation, metabolite

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: sanrey_10@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La problemática que se presenta en cuanto al exceso uso de medicamentos sintéticos que son perjudiciales para la salud, como son las adicciones, efectos secundarios no deseados tales como el vómito, alergias, entre otros, va en aumento.

Actualmente el uso de plantas con propiedades medicinales es una actividad empírica muy generalizada en diversas civilizaciones. Esta práctica ancestral está muy arraigada en el país y existe un gran número de especies utilizadas en Medicina Tradicional. Entre ellas destaca el "Maguey morado" (*Rhoeo discolor*) conocida también como "Barquilla" perteneciente a la familia Commelinaceae utilizada como antiinflamatoria, antibacteriana y para el tratamiento de enfermedades que afectan el aparato digestivo.

En el presente trabajo se realiza la caracterización y evaluación de la actividad antibacteriana con especies Gram negativas, con la finalidad de identificar los metabolitos secundarios capaces de actuar con dichas especies de bacterias y a su vez dar valor agregado a una planta que en este momento no lo tiene.

Metodología

Obtención de la materia prima

La zona en donde se recolectó la planta en estudio fue en la congregación "El Palmar" al este de la Ciudad de Papantla, Veracruz, en la desviación del Kilómetro 180, a partir de plantíos de traspatios.

Preparación del material Vegetal

La cantidad total de hojas de la planta recolectadas, se dividieron en dos partes, dejando una de ellas a secar a temperatura ambiente y la otra parte se mantuvo fresca. El material vegetal fresco se lava y se corta en cuadros pequeños se somete al proceso de maceración utilizando alcohol etílico, esta mezcla es depositada en un recipiente color ambar que impida el paso de la luz con la finalidad de evitar el proceso de descomposición de los metabolitos durante aproximadamente dos meses a temperatura ambiente. Se realiza la misma operación con el material vegetal seco.

Obtención del extracto de *Rhoeo Discolor*

Utilizando un rotavapor marca Yamato modelo RE300, se realiza la destilación del alcohol etílico introduciendo en el matraz 250 mL del extracto de barquilla seca a 75 revoluciones y 55 °C, se obtiene el extracto de la planta y se realiza el mismo procedimiento con las hojas de *Rhoeo discolor* fresco.

Caracterización química por cromatografía HPLC y espectroscopia FTIR

El extracto de *Rhoeo Discolor* se somete a Cromatografía HPLC y espectroscopia FTIR en las instalaciones del Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías (CNMN) del Instituto Politécnico Nacional. Referente a la cromatografía la muestra de interés se hace pasar mediante un flujo de disolvente hasta una columna rellena del material especial para llevar a cabo la separación de los componentes, posteriormente dichos componentes pasan a un sistema de detección acoplado con un sistema de grabación de datos.

Para espectroscopia la radiación IR es transmitida (o reflejada) a través de una muestra. Una parte de la radiación IR es absorbida (o reflejada) por la muestra y otra es transmitida (o reflejada). El espectro resultante representa la absorción molecular y la transmisión, creando una impresión digital molecular de la muestra. Igual que con una impresión digital.

Método de difusión en placa

Se utilizan cajas Petri de 9 cm de diámetro por 1 cm de altura, en las que se vierten 15 mL de agar nutritivo, empleando 4 tipos diferentes de bacterias, adquiridas en el Instituto Mexicano del Seguro Social de Poza Rica, Veracruz; las cuales son: *E Coli*, *Pseudomona Aeruginosa*, *Klebsiella Pneumoniae* y *Proteus*. Para la siembra por estría se utiliza el asa de platino.

Para realizar la difusiones se inoculan bacterias en una caja petri con agar nutritivo mediante estría masiva y se coloca en la superficie sensidiscos impregnados previamente con extracto de *Rhoeo discolor* en diluciones con alcohol a 1:10, 1:100 y al 100%. El extracto se difunde desde el disco a través del gel, de manera que las concentraciones más altas se encuentran en las proximidades del disco y progresivamente van disminuyendo conforme se aleja del mismo. Después se procede a la incubación en la estufa bacteriológica, en un periodo de 24 a 48 horas a una temperatura constante de 36 °C.

Concentración Mínima Bactericida

Se realizan microdiluciones con la finalidad de identificar la placa con la concentración bactericida más baja (CMB).

Para realizar la difusiones se inocula una bacteria en una caja petri con agar Mueller-Hinton mediante estría masiva y se coloca en la superficie sensidiscos impregnados previamente con extracto de *Rhoeo discolor* en diluciones con alcohol a 1:10, 1:100 y al 100%. Después de haber realizado las siembras y las microdiluciones, se procede a la incubación en la estufa bacteriológica, en un periodo de 24 horas a una temperatura constante de 36 °C.

Resultados

Se obtuvo el extracto procesado con planta macerada seca dando una tonalidad de café oscuro, mientras que el extracto en fresco fue de color purpura. La pureza de los extractos se obtuvo mediante lavados con alcohol etílico a través de la filtración. El resultado de los análisis químicos realizados en el laboratorio de las instalaciones del Instituto Politécnico Nacional, muestran los componentes de *Rhoeo discolor* en base a sus pesos moleculares y longitud de onda respectivamente.

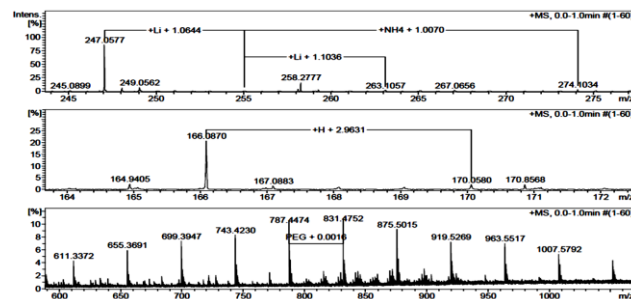


Figura 1 Resultados del análisis cromatográfico

En la figura 1 se observa la presencia de compuestos orgánicos con pesos moleculares de 219.0273 g/mol que indica la presencia de Acetato de Zinc dihidratado en un 100% de intensidad, mientras que en menor intensidad con un 5% se identifica el 1.12 benzopireno con un peso molecular de 274.1034 g/mol, así también se aprecia como hallazgo compuestos de tipo alcaloide con un peso molecular de 611 g/mol.

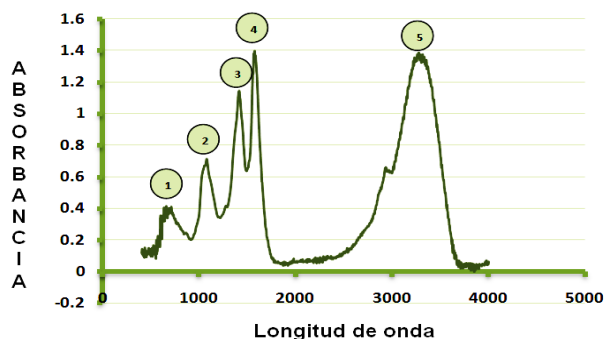


Figura 2 Resultados de Espectroscopia FTIR.

En la figura 2 se integran los resultados de la interpretación del FTIR, en ella se realizó la interpretación.

PESO MOLECULAR gr/mol	COMPONENTE	GRUPO FUNCIONAL
112.90	Octano	Alcano
140.07	Tirosol	Derivado Fenólico
175.05	7-Hidroxi-4-metilumarina	Fenilpropanoide
203.05	Triptófano	Aminoácido apolar
219.02	Acetato de Zinc	Acetato
247.05	Bromuro de Estroncio	Sal
258.27	Ácido Palmítico	Ácido
274.10	1,12 Benzoperileno	Hidrocarburo
164.94	Ácido p-cumarico	Ácido
166.08	Fluoreno	Hidrocarburo aromático
167.08	Fenilalanina	Aminoácido
170.85	Metronidazol	2-(2-metil-5-nitro-1H-imidazol-1-il)etanol
611.33	Reserpina	Alcaloide

Tabla 1 Se observan los grupos funcionales respecto a cada peso molecular de los componentes de *Rhoeo discolor*.

ONDA	PUNTO (cm⁻¹)	GRUPO FUNCIONAL
1	630.47	Cloroalcanos
2	1063.81	Aminas alifáticas
3	1400.44	Alcoholes Fenoles
4	1562.24	Alcoholes Fenoles Aminas Derivados de A. Carboxílico
5	3230.50	Alcoholes Vinilo Fenoles

Tabla 2 Grupos funcionales en base a la interpretación de la longitud de onda de la espectroscopia FTIR.

Básica de espectros en la región infrarroja, resultado de la espectroscopia realizada. En la tabla 2 Se muestran 5 puntos con diferentes grupos funcionales en base a su longitud de onda.

Se aprecia con mayor intensidad a los alcoholes, vinilo y fenoles, en cambio en menor intensidad se encuentra el grupo de los Cloroalcanos.

Se realizó la determinación de la actividad antimicrobiana utilizando como medio inhibidor el extracto de *Rhoeo discolor* sobre siembra de bacterias Gram Negativas; *Escherichia Coli*, *Pseudomona Aeruginosa*, *Klebsiella Pneumoniae* y *Proteus Mirabilis*. Se determinó la concentración mínima inhibitoria tomando en cuenta crecimiento en el halo de inhibición, también se muestran las diferencias entre el extracto de *Rhoeo discolor* fresco y seco. En las siguientes tablas se muestra la medida total de la zona de inhibición expresada en milímetros y según el resultado que se muestra se puede identificar si las bacterias son: Sensible (S), Intermedio (I) o Resistente (R) al extracto de *Rhoeo discolor* en función.

		Bacterias			
		<i>Escherichia Coli</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Proteus Mirabilis</i>	<i>Pseudomona Aeruginosa</i>
<i>Rhoeo Discolor Fresca</i>	1:10	R	R	R	I
	1:100	S	S	S	S
	100%	R	R	R	R
<i>Rhoeo Discolor Seca</i>	1:10	S	S	S	I
	1:100	I	I	S	I

Tabla 3 Resultados totales de inhibición en las diferentes bacterias

En la tabla 3 se muestra los resultados totales del efecto que presentó el extracto en las diferentes bacterias. se puede observar como ambos extractos de *Rhoeo discolor* actuaron sobre las cepas de las diferentes bacterias, al ser aplicado en su estado fresco, contrarresto a las 4 bacterias en una dilución de 1:100 y en las restantes fueron resistentes las bacterias exceptuando solo a la *pseudomona* en la cual se observó un poco de inhibición clasificándose como intermedio.

Al ser aplicada en su estado seco fue sensible a 3 bacterias en 1:10 y en otra a 1:100, las restantes fue el efecto de forma intermedia, únicamente en las diluciones del 100% presentó total resistencia. Ambos extractos son efectivos diluidos en diferentes cantidades, sin embargo, en los dos extractos las bacterias se muestran resistentes al ser contrarrestadas el extracto sin ser diluido.

Se realizó la determinación de la concentración mínima bactericida realizando microdiluciones y tomando en cuenta el halo de inhibición, también se muestran las diferencias entre el extracto de *Rhoeo discolor* fresco y seco, como se muestra en la tabla 4.

Diluciones(Ml)	Observaciones			
	Zona De Inhibición	Rhoeo Discolor Fresca	Zona De Inhibición	Rhoeo Discolor Seca
<i>Escherichia Coli</i>				
1:10	0mm	R	0mm	R
1:100	0mm	R	0mm	R
<i>Klebsiella</i>				
1:10	1mm	R	0mm	R
1:100	0mm	R	0mm	R
<i>Proteus Mirabilis</i>				
1:10	5mm	S	2mm	I
1:100	1mm	R	3mm	S
<i>Pseudomona Aeruginosa</i>				
1:10	2mm	I	1mm	R
1:100	1mm	R	1mm	R

Tabla 4 Resultados totales de la evaluación de *Rhoeo discolor* en las diferentes bacterias con Microdiluciones.

Discusión

En base a la investigación realizada por el Dr. Miguel Ángel Domínguez Ortiz se comprueba que a comparación con la evaluación realizada por el, ésta contiene cinco de los metabolitos que el encontró. La diferencia que se tuvo en cuanto a la caracterización química fue que él utilizó cromatografía de capa delgada, en columna, en capa preparativa y espectroscopia RMN.

Sin embargo a pesar de la utilización de diferentes equipos se logro encontrar los principales componentes que hacen a la planta medicinal.

Es pertinente mencionar que la presencia de compuestos con pesos mayores a 600 g/mol es un indicativo de que esta planta en investigación posee propiedades como estimulantes nerviosos que se concentran en la familia de los alcaloides. Al contener *Rhoeo discolor* estos compuestos se puede comprobar el porqué de sus beneficios ante enfermedades intestinales, infecciosas e incluso nerviosas, al contener triptófano ayuda a controlar el estrés, es antidepresivo y favorece el sueño, y el que se encuentra en mayor proporción es el acetato de zinc que se generalmente en forma de ungüento tópico para combatir la picazón o bien en combinación con un antibiótico, el acné.

Conclusiones

El conocimiento de la composición química de los seres vivos, en este caso de las plantas (fitoquímica), no es una tarea difícil de realizar, debido al gran número de compuestos químicos (metabolitos) presentes en los vegetales y a la enorme diversidad cultural de ellos, los procesos de extracción, separación e identificación son laboriosos, sin embargo, los resultados positivos de este tipo de investigación son una gran aliciente para continuar contribuyendo en el conocimiento de la química de las plantas, sobre todo, si se trata de especies muy utilizadas empíricamente con algún propósito medicinal (Dr. Miguel Ángel Domínguez Ortiz, 2003).

En base a los resultados obtenidos en la cromatografía HPLC se afirma la presencia de compuestos orgánicos de los grupos alcanos, derivados fenólicos, aminoácidos, acetatos, ácidos, hidrocarburos y alcaloides, siendo este último un hallazgo.

Por medio de la espectroscopia FTIR se puede comprobar que los grupos funcionales identificados son los metabolitos secundarios que le confieren la propiedad antibacteriana tal como lo afirma el Dr. Miguel Ángel Domínguez Ortiz. Por lo tanto esta investigación realizada de *Rhoeo discolor* proporciona resultados favorables y justifica el valor medicinal que tiene esta planta ya que efectivamente contiene metabolitos secundarios que la hacen medicinal, tomando en cuenta que algunos de los grupos funcionales determinados en la prueba de cromatografía HPLC y espectroscopia FTIR son los mismos.

Al utilizar el extracto ante bacterias gram negativas se observó un efecto positivo, ya que inhibió a las cuatro bacterias en diferentes diluciones. Es importante mencionar que las bacterias utilizadas causan efectos dañinos al aparato digestivo, sin embargo al conocer ciertos componentes de la planta, explica el porqué el extracto de *Rhoeo discolor* las contrarresta.

Finalmente al hacer referencia a la bibliografía y tomando como referencia la investigación del Dr. Miguel Ángel Domínguez en el 2003 acerca de que la planta contiene compuestos cumarinicos y que las pruebas químicas lo corroboraran es este compuesto uno de los que la hace antiinflamatoria y bactericida.

Referencias

- A. (July/Sept. 2008). Meiosis en mutantes desinápticos con restitución cromosómica en *Rhoeo spathacea* (*Commelinaceae*). México: Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.
- A. Reyes Munguía, E. A. (2009). Propiedades antioxidantes del maguey morado (*Rhoeo discolor*). *CyTA: Journal of food*, Cabello, R. R. (2011). *Microbiología y Parasitología Humana*. Medica Panamericana.
- Alberto Landa Martínez
<http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisisquimicos/espectroscopa-de-resonancia-magnetica-nuclear>.
- CENGAGE Learning. Stanier, R. Y., Ingraham, J. Y., Wheelis, M. L., & Painter, P. R. (1992). *Microbiología Segunda Edición*. Reverté.
- Domínguez Ortiz M. (2003). Elucidación estructural y actividad antimicrobiana de los metabolitos presentes en *Rhoeo discolor*. Tecomán, Colima: Universidad de Colima.
- Est. Verónica del Carmen Díaz Oliva, Dr. Manasés González Cortazar, Dr. Carlos Ernesto Lobato García, L.Q. Abraham Gómez Rivera - 2008.
<http://www.archivos.ujat.mx/dip/divulgacion%20y%20video%20cinetifico%202008/DACB/VDiazO.pdf>
- Evangelina Olivas E., L. R. (2004). Manual de prácticas de Microbiología básica y Microbiología de alimentos. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. García-Velázquez,
- L.Ingraham, J., & Ingraham, C. A. (1998). *Introducción a la Microbiología*. Reverte S.A.
- María José Climent Olmedo, H. G., & Bertomeu, I. M. (2005). *Experimentación en Química: Química Orgánica, Ingeniería Química*. Universidad Politécnica de Valencia.

Mireya de la Garza, Rosa Luisa Santillán Baca, Javier Hernández Martínez, Miguel Ángel Ortiz Domínguez 2002.

<http://www.uv.mx/gaceta/Gaceta88/88/ACiencia/ABC01.htm>.

Sharapin, N. (2002). Fundamentos de Tecnología de productos Fitoterapéuticos. Quebecor Impreandes.

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2010). Fundamentos de Química Analítica.

Caracterización térmica de silicatos de circonio modificado con azufre

ESTEBAN, Heriberto†, GARCÍA, Ricardo*, RAMOS, Claudia Esmeralda, ROBLES, Sergio, SANDOVAL, Guillermo, ARREGOITIA, Ma. Isabel y PARAGUAY, Francisco

Recibido 14 de Enero, 2015; Aceptado 4 de Marzo, 2015

Resumen

Los silicatos de circonio fueron preparados por un método no hidrotérmico, la preparación de los materiales fue muy rápida y sencilla en comparación con los métodos tradicionales de síntesis para ésta familia de sólidos mesoporosos. Los materiales resultantes fueron caracterizados por análisis térmico y por espectroscopia FTIR-piridina. Los resultados TGA muestran que a 600 °C los materiales son estables térmicamente, por esta razón fueron calcinados a 600 °C. La introducción del óxido de circonio en la estructura del silicato puro promovió la acidez del sólido, sin embargo, esta no se incrementó con la adición de iones sulfatos en el precursor del silicato.

Silicato de circonio, sulfato, Acidez

Abstract

Zirconium silicates were prepared by a non-hydrothermal method, preparation of materials was very quick and simple compared to the traditional methods of synthesis for this family of mesoporous solids. The resulting materials were characterized by thermal analysis and FTIR-pyridine spectroscopy. The TGA results show that at 600°C the materials are stable thermally, for this reason these were calcined at 600°C. The introduction of zirconium oxide in the structure of pure silicate improves the acidity in the solids, however it was not increased with the addition of sulphate ions in the precursors of silicates.

Zirconium silicate, Sulfate, Acidity

Citación: ESTEBAN, Heriberto, GARCÍA, Ricardo, RAMOS, Claudia Esmeralda, ROBLES, Sergio, SANDOVAL, Guillermo, ARREGOITIA, Ma. Isabel y PARAGUAY, Francisco. Caracterización térmica de silicatos de circonio modificado con azufre. Revista de Energía Química y Física 2015, 2-2: 278-282

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ricardogarcia.alamilla@yahoo.com.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los silicatos porosos como son la MCM y SBA tienen áreas específicas elevadas, por lo que encuentran aplicaciones como adsorbentes, catalizadores y soportes de fases activas, la preparación de éstos materiales requiere de tensoactivos o surfactantes para la formación de micelas, cuyas formas y tamaños dependen esencialmente de los métodos de preparación y parámetros de síntesis. Entre los métodos de síntesis más comunes se encuentran los métodos hidrotérmicos (Bhagiyalakshmi y col. 2010), neutralización retrasada (Chen y col. 2001) y síntesis por microondas (Cao y col. 2009). Los silicatos obtenidos a partir de estos métodos poseen estructura porosa uniforme y arreglos ordenados, sin embargo, presentan baja estabilidad térmica y acidez superficial débil que limita su aplicación como catalizador o soporte. La introducción de metales de transición como el circonio (Jiang y col. 2010) en la estructura del silicato promueve la acidez y mejora el desempeño catalítico, otra forma de aumentar más la acidez en los silicatos de circonio es mediante impregnaciones con iones SO_4^{2-} , PO_4^{3-} y heteropoliácidos (Alharbi y col. 2014), resultando en materiales estables térmicamente y activos en reacciones de deshidratación de alcoholes, isomerización, alquilación, etc. (Trakarnpruk, 2013, Gupta y Satya, 2014, Chang y col. 2002, Ramos y col. 2001).

En el presente trabajo de investigación, se muestra el proceso de síntesis de un silicato de circonio y un silicato de circonio sulfatado a partir de un método de síntesis rápido y sencillo en comparación con los métodos tradicionales donde se invierte mucho tiempo para la preparación de éstos silicatos mesoporosos. Éste método no hidrotérmico permite obtener materiales con propiedades texturales y estructurales semejantes a los obtenidos con los métodos de síntesis ya mencionados.

Metodología

La preparación de los silicatos de circonio se realiza siguiendo la metodología reportada por Sepehrian y col. 2006, en la cual se usa bromuro de cetil-trimetil-amonio (Aldrich; 99%) como agente estructurante mezclado con agua destilada por 15 min y posteriormente, a esta solución se le adiciona una cantidad conocida de silicato de sodio ($\text{Na}_2\text{O}_7\text{Si}_3$; Aldrich), homogeneizando en agitación constante durante 30 min a temperatura ambiente. El pH de la solución alcalina se ajusta de un valor de 12 hasta 9 mediante la adición de H_2SO_4 2 M. A ésta mezcla resultante se le adiciona por goteo lento una solución de oxiclورو de circonio ($\text{ZrOCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; E. Merck, 98%) y se homogeniza mediante agitación constante por 4 h a temperatura ambiente. El precipitado obtenido es filtrado, lavado y finalmente secado a 80 °C durante 48 h. El polvo blanco resultante se divide en dos porciones: la primera se calcina a 600 °C por 6 h en flujo de aire extraseco, denominándose silicato de circonio mesoporoso (ZSM) y la segunda porción del polvo se impregna con una solución de H_2SO_4 2 M por la técnica de humedad incipiente, depositando 12% en peso teórico de iones sulfatos (SO_4^{2-}), el secado del material sulfatado fue a 80° C por 12 h. La calcinación se realiza bajo las mismas condiciones material ZSM. A este material resultante se le denomina silicato de circonio sulfatado (12SZSM).

Los materiales sólidos fueron caracterizados por análisis térmico y espectroscopía FTIR-piridina.

Resultados

La figura 1 y 2 muestra el comportamiento térmico de los precursores ZSM y 12SZSM, en ambos materiales se observa tres etapas de pérdida de peso.

En la primera etapa, la pérdida de peso es aproximadamente del 5% entre temperatura ambiente y 100 °C, debido a la eliminación del agua fisisorbida (Souza y col. 2011). La segunda etapa, se observa en el rango de 100 y 350 °C la cual se atribuye a la eliminación del agente estructurante (Ocelli y col. 1999). En éste intervalo del tratamiento térmico el material ZSM pierde el 23% de peso mientras que el material 12SZSM pierde aproximadamente 19% en peso, de acuerdo a los reportados por Souza y col. 2011, en esta etapa existe una interacción fuerte entre los grupos aminos resultantes de la descomposición del agente estructurante con las especies dopantes provocando un taponamiento en los poros del material que impide una fácil evacuación de la materia orgánica, por lo que se necesita mayor temperatura para su eliminación. Este comportamiento lo presenta el material 12SZSM que tiene una menor pérdida de peso a diferencia del silicato modificado solamente con circonio. Finalmente, la última etapa de pérdida de peso se da en el rango de 350 y 600 °C. En este rango de temperatura todavía se tiene pérdida de peso por eliminación de materia orgánica residual, así como también, pérdida de peso por deshidroxilación de los precursores para formar enlaces Si-O-Si (Souza y col. 2011).

Por otra parte, en la curva DTG se observan señales de salida de materia en el rango de 50 °C hasta los 331 °C, relacionados con los procesos de eliminación de agua ocluida físicamente en la porosidad de los precursores y eliminación de materia orgánica. La salida de materia centrada en 497 °C se debe a la condensación de los grupos silanos y eliminación de los grupos sulfatos para el caso del material 12SZSM, el cual presenta una pérdida de peso en la curva TG del 18% indicando que existe eliminación de especies sulfatos. La pérdida de peso total para los materiales fue de alrededor del 40%.

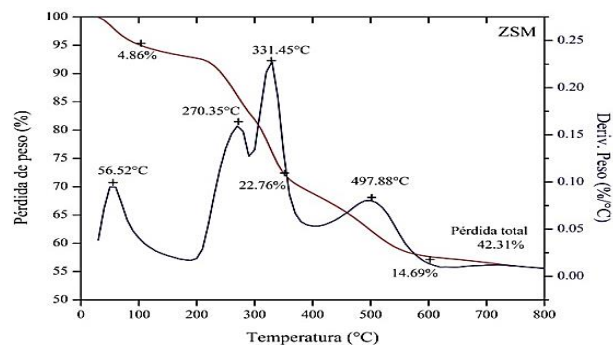


Figura 1 Análisis térmicos (TG-DTG) del silicato de circonio mesoporoso (ZSM)

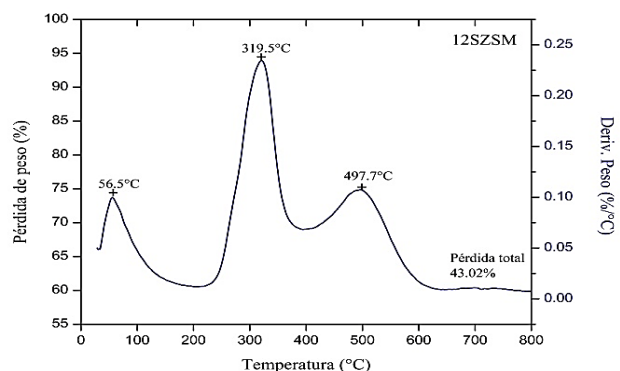


Figura 2 Análisis térmico (TG-DTG) del material 12SZSM.

Los espectros de adsorción de piridina de los materiales ZSM y 12SZSM se muestran en la figura 3 y 4. Ambos materiales presentan sitios ácidos Lewis en 1445, 1580, 1595 y 1609 cm^{-1} los cuales son originados por la presencia de átomo de circonio en la estructura del silicato mesoporoso (Ocelli y col. 1999, Pizzio y col. 2003), la impregnación del material ZSM en fase precursora con iones sulfatos modifica ligeramente la naturaleza ácida del material 12SZSM debido a que los grupos sulfatos en asociación con moléculas de agua permiten la formación de sitios ácidos tipo Brönsted, observando una señal débil en la región de 1544 cm^{-1} (Fuentes y col. 2006), así como también, una señal en 1490 cm^{-1} atribuida a sitios ácidos del tipo Brönsted-Lewis. En general, se puede decir que el material ZSM presenta sitios ácidos débiles y el material 12SZSM sitios ácidos de intensidad, débil, intermedia y fuerte.

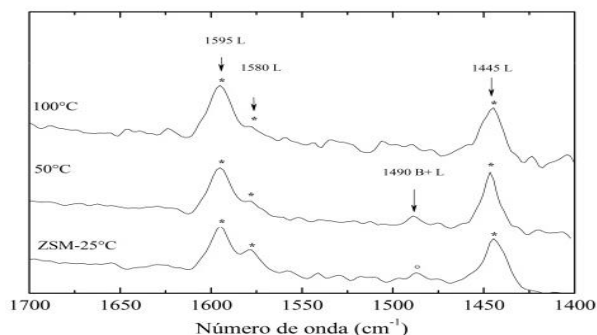


Figura 3 Espectroscopia FTIR con adsorción de piridina del silicato de circonio mesoporoso

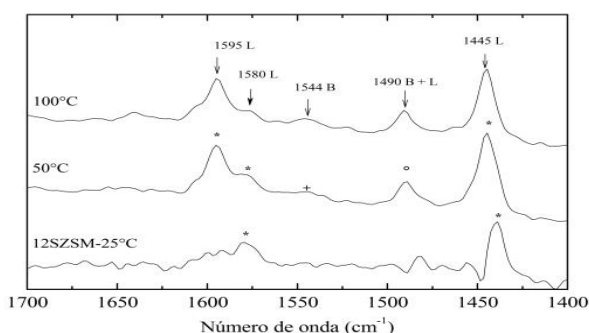


Figura 4 Espectroscopia FTIR con adsorción de piridina del silicato de circonio sulfatad

Agradecimiento

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca No. 208429. Agradecimiento al Dr. Brent Handy por su colaboración para los análisis de IR-Piridina. Al Tecnológico Nacional de México por el apoyo económico otorgado a través del proyecto no. 5531.15-P

Conclusiones

Los silicatos preparados presentaron carácter ácido y fueron estables térmicamente. La sulfatación en la etapa precursora del silicato no mostro incremento en la acidez como se esperaba, por lo que será necesario realizar la sulfatación en en otra etapa.

Referencias

Alharbi, W., Brown, E., Kozhevnikova, E. F., Kozhevnikov, I. V. (2014). Dehydration of ethanol over heteropoly acid catalysts in the gas phase, *Journal of Catalysis*, 319, 174–181

Bhagiyalakshmi, M., Yun, L. J., Anuradha R., Jang, Hyun T. (2010). Utilization of rice husk ash as silica source for the synthesis of mesoporous silicas and their application to CO₂ adsorption through TREN/TEPA grafting. *Journal of Hazardous Materials*, 175, 928–938,

CAO, Y., WEI, H. J., XIA, Z. N. (2009). Advances in microwave assisted synthesis of ordered mesoporous materials. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*, 19, s659-s664.

Chen, C. L., Cheng, S., Lin, H. P., Wong, S. T., Mou, C.Y. (2001). Sulfated zirconia catalyst supported on MCM-41 mesoporous molecular sieve, *Applied Catalysis A: General*, 215, 21–30

Chang, L. C., Tao, L., Soofin, C. Nanping Xu, Chung, Y. M. (2002). Catalytic behavior of alumina-promoted sulfated zirconia supported on mesoporous silica in butane isometization, *Catalysis Letters*, 78, 223-229.

Fuentes, D., Santamaría, J., Mérida, J., Rodríguez, E., Jiménez, A., Maireles, P., Moreno, R., Mariscal, R. (2006). Evaluation of the acid properties of porous zirconium-doped and undoped silica materials, *Journal of Solid State Chemistry*, 179, 2182–2189.

Gupta P., Satya P. (2014). Solid acids: Green alternatives for acid catalysis, *Catalysis Today*, 236, 153-170.

Jiang, T. S., Li, Y. H., Zhou, X. P., Zhao, Q., Yin, H. B. (2010). Thermal and hydrothermal stability of ZrMCM-41 mesoporous molecular sieves obtained by microwave irradiation, *J. Chem. Sci.*, 122, 371–379.

Occelli, M. L., Biz, S., Auroux, A., (1999). Effects of isomorphous substitution of Si with Ti and Zr in mesoporous silicates with the MCM-41 structure, *Applied Catalysis A: General*, 183, 23-239.

Pizzio, L. R., Vázquez, P. G., Cáceres, C. V., Blanco, M. N. (2003). Supported Keggin type heteropolycompounds for ecofriendly reactions, *Applied Catalysis A: General*, 256, 125–139.

Ramos, C. E., Domínguez, J. M., Sandoval, G., Mantilla, A., Ferrat, G. (2001). Isobutane alkylation with C4 olefins on a sulfonic solid acid catalyst system based on laminar clays, *Catalysis Today*, 65, 391–395.

Sepehrian, H., Khanchi, A. R., M. K., Rofouci, S., Husain W. (2006). Non-Thermal Synthesis of Mesoporous Zirconium Silicate and its Characterization, *Journal of the Iranian Chemical Society*, 3, 253-257.

Souza, L. K. C., Pardaul, J. J. R., Zamian, J. R., da Rocha Filho, G. N., da Costa C. E. F. (2011). Influence of the incorporated metal on template removal from MCM-41 type mesoporous materials, *J Therm Anal Calorim*, 106, 355–361

Trakarnpruk, W. (2013). Dehydration of ethanol over copper and cerium phosphotungstates supported on MCM-41, *Mendeleev Commun.*, 23, 168–170.

Wang, J. A., Chen, L. F., Noreña, L. E., Navarrete, J., Llanos, M. E., Contreras, J. L., Novaro, O. (2008). “Mesoporous structure, surface acidity and catalytic properties of Pt/Zr–MCM-41 catalysts promoted with 12-tungstophosphoric acid”, *Microporous and Mesoporous Materials*, 112, 61–76.

Descomposición fotocatalítica de fenoles clorados

SANDOVAL, Guillermo*†, RAMOS, Claudia Esmeralda, LÓPEZ, Diego Alejandro, GARCÍA, Ricardo y ARREGOITIA, María Isabel

Recibido 15 de Enero, 2015; Aceptado 5 de Marzo, 2015

Resumen

El control de la contaminación ambiental a nivel mundial exige el tratamiento de las aguas residuales que contienen compuestos orgánicos recalcitrantes. Bajo este contexto, el objetivo del presente trabajo fue degradar fotocatalíticamente soluciones acuosas conteniendo 30 ppm de 4-clorofenol y 2,4-diclorofenol, empleando como catalizador al TiO₂ preparado por el método sol-gel y modificado con metales pertenecientes al grupo de las "tierras raras" (samario y gadolinio). La reacción se llevó a cabo en un reactor intermitente utilizando luz ultravioleta y aire. La evolución de la reacción se siguió mediante análisis de espectroscopia UV-visible.

La introducción de Sm y Gd promovió la formación de la fase anatasa en mayor extensión, inhibiendo la cristalización de la fase rutilo. Por otra parte, en la degradación de ambas moléculas cloradas, el TiO₂ modificado resultó ser más activo que el TiO₂ puro, debido probablemente a un menor tamaño de partícula de los materiales dopados con tierras raras.

Fotocatálisis, dióxido de titanio, tierras raras, degradación de 4-clorofenol, 2,4-diclorofenol

Abstract

The pollution control worldwide requires the treatment of wastewater containing recalcitrant organic compounds. In this context, the aim of this study was photocatalytically degrade aqueous solutions containing 30 ppm of 4-chlorophenol and 2,4-dichlorophenol, using TiO₂ catalyst prepared by sol-gel method and modified with metals of the group of "rare earth" (samarium and gadolinium). The reaction was carried out in a batch reactor using ultraviolet light and air. The reaction progress was monitored by UV-visible spectroscopy.

The introduction of Sm and Gd promoted the formation of anatase phase, inhibiting the crystallization of rutile phase. Moreover, in the degradation of both chlorinated molecules, the modified TiO₂ was more active than the pure TiO₂, probably due to a smaller particle size of the materials doped with rare earth.

Photocatalysis, titanium dioxide, rare earth, degradation of 4-chlorophenol, 2,4-dichlorophenol

Citación: SANDOVAL, Guillermo, RAMOS, Claudia Esmeralda, LÓPEZ, Diego Alejandro, GARCÍA, Ricardo y ARREGOITIA, María Isabel. Descomposición fotocatalítica de fenoles clorados. Revista de Energía Química y Física 2015, 2-2: 283-287

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jguillesandoval@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El agua contaminada por la actividad humana e industrial puede tratarse por distintos métodos; no obstante, la remediación de aguas no es una tarea fácil debido a la gran variedad de contaminantes presentes en dichos desechos.

Los sistemas biológicos tienden a ser económicos y fáciles de operar. Algunas industrias combinan diferentes pasos de decantación, además de tratamientos biológicos aeróbicos y anaeróbicos, otras más han desarrollado biocolumnas conteniendo lodos activados que son continuamente aireados para tratar sus aguas contaminadas. Por otra parte, el ozono muestra un fuerte efecto de esterilización y desinfección ya que puede rápidamente reaccionar con contaminantes orgánicos e inorgánicos (Araña y col. 2002).

Los marcos legales, cada día más estrictos, en torno a la descontaminación de aguas residuales han impulsado a desarrollar nuevos materiales para ser utilizados en los Procesos Avanzados de Oxidación (PAO's). Este tipo de tecnología es empleada en el tratamiento de aguas contaminadas con moléculas orgánicas que no son tratables mediante técnicas convencionales, debido a su elevada estabilidad química y/o baja biodegradabilidad (Erdemoğlu y col. 2008, Elahmadi y col. 2009, Sakkas y col. 2010). Los PAO's son especialmente útiles como pre-tratamiento de un proceso biológico para contaminantes resistentes a la biodegradación o como post-tratamiento antes de la descarga a los cuerpos receptores. Particularmente, la degradación fotosensibilizada con dióxido de titanio (TiO_2) está bien documentada en la literatura, así como las estrategias empleadas para mejorar la eficiencia de esta tecnología (Melghit y col. 2008, Sun y col. 2009, Nakata y Fujishima 2012).

En esta investigación se destaca el desarrollo de materiales a base de TiO_2 dopados con tierras raras (Sm y Gd) con el objetivo de degradar al 4-clorofenol y al 2,4-diclorofenol aplicando procesos de oxidación avanzada.

Metodología

Los materiales fueron preparados mediante el proceso sol-gel, para lo cual se emplearon butóxido de titanio IV como precursor y 1-butanol como solvente. La solución se mantuvo en agitación constante a 65°C durante una hora para lograr una completa homogenización. Una vez concluida esta etapa, se efectuó la hidrólisis adicionando por goteo lento una mezcla de agua/1-butanol. Posteriormente, este sistema continuó dos horas más en agitación y a 65°C . El periodo de añejamiento del gel fue de 72 horas a temperatura ambiente, sometiéndolo después a un secado durante 24 horas a 100°C . Finalmente, una porción del hidróxido de titanio obtenido se calcinó por 5 horas a 500°C utilizando una velocidad de calentamiento de $3^\circ\text{C}/\text{min}$, obteniéndose así óxido de titanio, TiO_2 .

Para sintetizar los materiales dopados con tierras raras se realizó la impregnación del hidróxido de titanio después de la etapa de secado, usando nitrato hexahidratado de gadolinio o nitrato hexahidratado de samario, respectivamente. Estos materiales fueron dopados con dos distintas cargas del metal, 0.1% y 0.5% mol.

Los fotocatalizadores obtenidos fueron caracterizados por difracción de rayos X y se evaluaron en la degradación fotocatalítica de fenoles.

Las soluciones contaminantes (4 - clorofenol y 2,4 - diclorofenol) fueron preparadas con una concentración de 30 ppm, las reacciones de fotodegradación se llevaron a cabo en un reactor de vidrio agitado e irradiado con luz UV durante 6 horas, tomando alícuotas cada 30 minutos.

Resultados

En la figura 1 se presenta el patrón de difracción de rayos X del óxido de titanio puro, TiO_2 , así como los difractogramas correspondientes a los materiales dopados con distintas cargas de gadolinio y samario. Como se ha descrito frecuentemente en la literatura, existen tres tipos principales de estructuras cristalinas del TiO_2 : rutilo, anatasa y brokita (Fujishima y col. 2008). En este caso, las líneas de difracción indicaron predominantemente la presencia de la fase anatasa, cuyos picos característicos se localizan en 25.3 , 37.8 , 48.5 , 54 , 55.5 y 62.5° en la escala 2θ (Quiñones y col. 2014). Esta estructura cristalina es activa en aplicaciones fotocatalíticas.

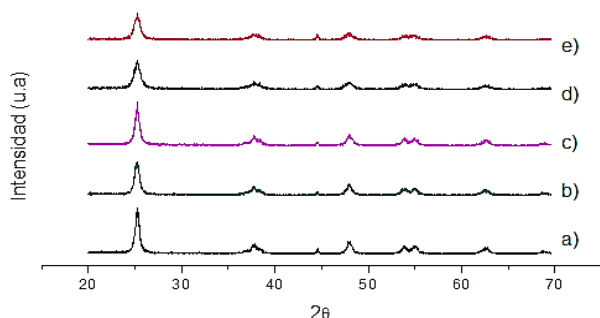


Figura 1 Patrones de difracción de rayos X de los materiales a) TiO_2 , b) $\text{TiO}_2\text{-Gd}/0.1\%$, c) $\text{TiO}_2\text{-Sm}/0.1\%$, d) $\text{TiO}_2\text{-Gd}/0.5\%$, e) $\text{TiO}_2\text{-Sm}/0.5\%$

Li y col. (2011) indicaron la influencia de la temperatura de calcinación en el tipo de estructura cristalina desarrollada por el óxido de titanio.

Los materiales calcinados a 400°C cristalizan hacia la fase anatasa; mientras que cuando se lleva a cabo la calcinación por encima de los 500°C comienzan a surgir los picos relativos a la fase rutilo. En los materiales sintetizados no se observó la presencia de esta última fase.

Por otra parte, en los materiales modificados con un mayor contenido de metal puede observarse la disminución del tamaño promedio de cristalita, puesto que el pico localizado a 25.3° tiende a ser más amplio y de menor intensidad. De acuerdo con Shi y col. (2012), los materiales dopados con tierras raras suprimen el crecimiento del cristal del TiO_2 .

Los materiales dopados con una carga de lantánido de 0.1% mol fueron evaluados en la degradación fotocatalítica de una solución contaminante de 4-clorofenol cuya concentración inicial fue de 30 ppm. En la figura 2 se observa que los fotocatalizadores dopados lograron superar el desempeño correspondiente al material puro. Al cabo de seis horas de reacción la concentración de la solución problema disminuyó a 2 y 10 ppm, respectivamente, al usar los materiales $\text{TiO}_2\text{-Gd}/0.1\%$ y $\text{TiO}_2\text{-Sm}/0.1\%$; mientras que el TiO_2 logró disminuir la concentración del contaminante hasta 12.5 ppm.

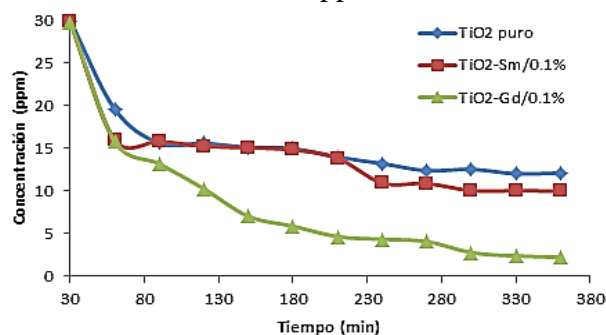


Figura 2 Degradación fotocatalítica de 4-clorofenol (30 ppm) usando los fotocatalizadores TiO_2 , $\text{TiO}_2\text{-Sm}/0.1\%$ y $\text{TiO}_2\text{-Gd}/0.1\%$

Los materiales dopados con una mayor carga de metal fueron evaluados bajo las mismas condiciones para establecer una comparación. En la figura 3 puede observarse que, después de transcurridas 3 horas de reacción, los materiales con una carga de 0.5% mol de Gd o Sm lograron una disminución de la concentración del 4-clorofenol del 83%, en cambio el TiO_2 sólo degradó al contaminante en un 50%. Al término de la reacción los fotocatalizadores $\text{TiO}_2\text{-Gd}/0.5\%$ y $\text{TiO}_2\text{-Sm}/0.5\%$ degradaron completamente a la molécula contaminante, mostrando así un excelente desempeño.

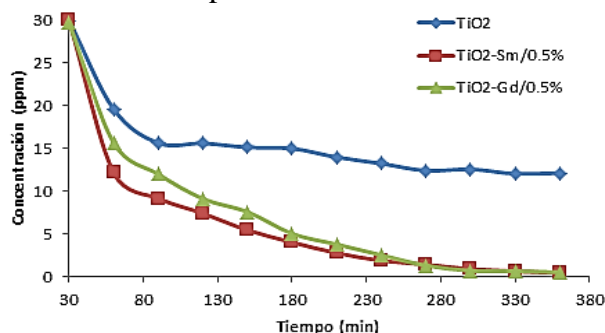


Figura 3 Degradación fotocatalítica de 4-clorofenol (30 ppm) usando los fotocatalizadores TiO_2 , $\text{TiO}_2\text{-Sm}/0.5\%$ y $\text{TiO}_2\text{-Gd}/0.5\%$

Las reacciones de fotodegradación del contaminante 2,4-diclorofenol se llevaron a cabo bajo las mismas condiciones que las reacciones de degradación del 4-clorofenol, usando los fotocatalizadores con mayor carga de metal.

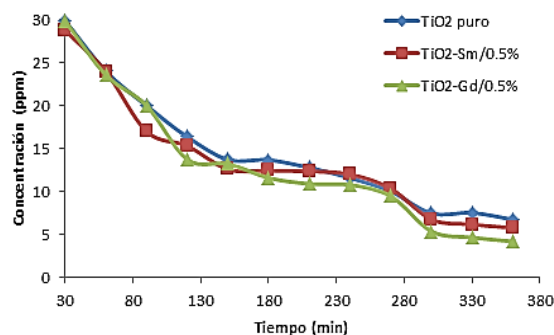


Figura 4 Degradación fotocatalítica de 2,4-diclorofenol (30 ppm) usando los fotocatalizadores TiO_2 , $\text{TiO}_2\text{-Sm}/0.5\%$ y $\text{TiO}_2\text{-Gd}/0.5\%$.

En la figura 4 se puede apreciar que a la mitad del transcurso de la reacción todos los materiales lograron degradar al contaminante en poco más del 50%. Al final de la reacción la concentración de la solución disminuyó a 7, 6 y 4 ppm al usar respectivamente los materiales TiO_2 , $\text{TiO}_2\text{-Sm}/0.5\%$ y $\text{TiO}_2\text{-Gd}/0.5\%$.

Conclusiones

Los materiales sintetizados fueron evaluados en la degradación de moléculas orgánicas recalcitrantes, 4-clorofenol y 2,4-diclorofenol. Los mayores porcentajes de degradación fueron obtenidos con los fotocatalizadores que contienen una mayor carga de lantánido, siendo superior el material $\text{TiO}_2\text{-Gd}/0.5\%$. Aunque los compuestos clorados fueron sensibles a la degradación, la molécula del 2,4-diclorofenol presenta cierta resistencia a su descomposición debido a la posición en *orto* y *para* de los cloros.

Referencias

Araña J., Herrera Melián J.A., Doña Rodríguez J.M., González Díaz O., Viera A., Pérez Peña J., Marrero Sosa P.M. y Espino Jiménez V. "TiO₂-photocatalysis as a tertiary treatment of naturally treated wastewater", *Catalysis Today*, Vol. 76, 2002, 279-289.

Elahmadi M.F., Bensalah N. y Gadri A. "Treatment of aqueous wastes contaminated with Congo Red dye by electrochemical oxidation and ozonation processes", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 168, 2009, 1163-1169.

Erdemoğlu S., Aksu S.K., Sayılkan F., İzgi B., Asiltürk M., Sayılkan H., Frimmel F. y Güçer Ş. "Photocatalytic degradation of Congo Red by hydrothermally synthesized nanocrystalline TiO₂ and identification of degradation products by LC-MS", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 155, 2008, 469-476.

Fujishima A., Zhang X. y Tryk D.A. "TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena", *Surface Science Reports*, Vol. 63, 2008, 515-582.

Li X., Zhang H., Zheng X., Yin Z. y Wei L. "Visible light responsive N-F-codoped TiO₂ photocatalysts for the degradation of 4-chlorophenol", *Journal of environmental sciences*, Vol. 23(11), 2011, 1919-1924.

Melghit K., Al-Rabaniah S.S. y Al-Amri I. "Low temperature preparation and characterization of nanospherical anatase TiO₂ and its photocatalytic activity on Congo red degradation under sunlight", *Ceramics International*, Vol. 34, 2008, 479-483.

Nakata K. y Fujishima A. "TiO₂ photocatalysis: Design and applications", *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, Vol. 13, 2012, 169-189.

Quiñones D.H., Rey A., Álvarez P.M., Beltrán F.J. y Li Puma G. "Boron doped TiO₂ catalysts for photocatalytic ozonation of aqueous mixtures of common pesticides: Diuron, o-phenylphenol, MCPA and terbutylazine", *Applied Catalysis B: Environmental*, 2014, Article in press.

Sakkas V.A., Islam M.A., Stalikas C. y Albanis T.A. "Photocatalytic degradation using design of experiments: A review and example of the Congo red degradation". *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 175, 2010, 33-44.

Shi H., Zhang T., An T., Li B. y Wang X. "Enhancement of photocatalytic activity of nano-scale TiO₂ particles co-doped by rare earths elements and heteropolyacids", *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 380, 2012, 121-127.

Sun J., Wang Y., Sun R. y Dong S. "Photodegradation of azo dye Congo Red from aqueous solution by the WO₃-TiO₂/activated carbon (AC) photocatalyst under the UV irradiation", *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 115, 2009, 303-308.

Estudio hidrodinámico de un reactor de lecho fluidizado en paralelo con diferentes configuraciones

JUÁREZ, Ana*†, ALVARADO, Arturo, VALLEJO, Norma y ALVARADO, Alejandro

Recibido 16 de Enero, 2015; Aceptado 09 de Marzo, 2015

Resumen

El tratamiento de efluentes industriales que involucran grandes volúmenes y una carga orgánica elevada, siguen siendo un problema sin una solución total. Se han propuesto reactores anaerobios de segunda generación que han atendido en parte el problema, sin embargo es necesario desarrollar nuevas tecnologías utilizando reactores de alta carga que a su vez puedan tratar mayores volúmenes en espacios reducidos. Los reactores de lecho fluidizado inverso resultan una alternativa atractiva, sin embargo su escalamiento requiere de mejoras que lo hagan competitivo. En este trabajo se realizó un estudio hidrodinámico en un reactor de lecho fluidizado en paralelo con diferentes configuraciones, evaluándose los aspectos hidrodinámicos de velocidad descendencial y expansión del lecho utilizando diferentes volúmenes de soporte. Los resultados preliminares indican que la configuración en paralelo presenta ventajas con respecto a la configuración tradicional, mientras que las pruebas hidrodinámicas presentan buena estabilidad al utilizar un 30% de soporte y un lecho semifluidizado inverso.

Estudio hidrodinámico, lecho fluidizado, configuración en paralelo

Abstract

Treatment of industrial effluents that involve large volumes and high organic loads remains a problem without a total solution. The issue was attended in part with second generation anaerobic reactors, however it is necessary to develop new technologies using high loading reactors which can treat higher volumes in reduced spaces. The inverse fluidized bed reactors are an attractive alternative, but in order to achieve an efficient scale up, improvements that make it competitive are required. In this work, a hydrodynamic study was performed in a fluidized bed reactor in parallel with different configurations, evaluating descentional velocity and bed expansion as hydrodynamic variables and using different volumes of support material. Preliminary results indicate that the parallel configuration has advantages over the traditional configuration, while the hydrodynamic tests show good stability when using 30% support and inverse semi fluidized bed.

Hydrodynamic study, fluidized bed, parallel configuration

Citación: JUÁREZ, Ana, ALVARADO, Arturo, VALLEJO, Norma y ALVARADO, Alejandro. Estudio hidrodinámico de un reactor de lecho fluidizado en paralelo con diferentes configuraciones. Revista de Energía Química y Física 2015, 2-2: 288-294

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: anpat_mar21@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Desde la antigüedad el problema de la contaminación ambiental ha sido múltiple, presentándose en formas muy diversas a través de efectos directos o indirectos que dañan seriamente la atmósfera, suelo, agua y seres vivos. Esto ha sido provocado en su totalidad o en parte por la acción humana. Por otro lado, el agotamiento de los combustibles fósiles y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero han dado lugar a una demanda urgente de energía limpia [Chong et al., 2012].

Los tratamientos biológicos aerobios y anaerobios constituyen dos grandes alternativas para la depuración de aguas residuales y residuos orgánicos biodegradables. Sin embargo, el tratamiento anaerobio resulta mucho más favorable económicamente por el hecho de no requerir aireación, y por la generación de biogás (metano y dióxido de carbono), que se puede utilizar como energía alternativa, lo que permite en muchos casos la autosuficiencia de las plantas de tratamiento [Cervantes-Zepeda et al., 2011].

La biodegradación anaerobia se lleva a cabo dentro de tanques totalmente cerrados, denominados reactores debido a la reacción bioquímica de descomposición que se realiza en ellos [Escudí et al., 2011]. En la generación más reciente de reactores anaerobios, los microorganismos se adhieren a un material de soporte formando biopelículas, que se expanden o fluidifican con altas velocidades de flujo, lo cual proporciona la ventaja de tratar efluentes con altas cargas volumétricas en menor tiempo a comparación de otros sistemas [Chun-Sheng et al., 2006]. El flujo ascendente o descendente del lecho de partículas de soporte se logra a través de una corriente de recirculación, lográndose de esta manera la fluidización.

Los materiales de soporte son variados e incluyen arena, material plástico, cerámica, carbón y otros tipos de materiales. Ejemplos de estos sistemas, son los reactores de lecho fluidizado (LF) de flujo ascendente o descendente (inverso), lecho de lodos granular expandido (EGSB), reactor de biopelícula en suspensión por una corriente de aire (BAS) y reactor de circulación interna (IC) [Nicolella et al., 2000].

Los sistemas convencionales de tratamiento anaerobio ofrecen excelentes eficiencias de remoción, sin embargo no reúnen los criterios necesarios para la sustentabilidad de las inversiones en México y países en vías de desarrollo, donde los recursos de capital y mano de obra calificada son limitados. Por ello surge la necesidad de adoptar tecnologías de tratamiento modernos capaces de remover los principales contaminantes, con bajos costo de construcción, mantenimiento, económicamente factibles y autosostenibles [Villegas y Pérez, 2004].

Actualmente los Reactores de Lecho Fluidizado Inverso (RLFI) son mayormente empleados para el tratamiento biológico anaerobio, por ser un sistema capaz de trabajar a altas cargas volumétricas, en espacios reducidos, en menor tiempo y con menores requerimientos energéticos en comparación con otros sistemas [Sokoł et al., 2008]. Sin embargo, a nivel industrial aún no pueden ser utilizados, debido a que los grandes volúmenes de aguas residuales, provocan que las dimensiones de los reactores aumenten considerablemente. Conforme el tamaño de un RLFI incrementa se dificulta mantener un flujo adecuado para lograr una expansión homogénea del lecho sin pérdida del material de soporte en el efluente.

También se requerirían más bombas y de mayor potencia para tener una buena fluidización, lo que incrementaría el costo de capital y energético.

Por lo anterior, el objetivo de este proyecto es el estudio hidrodinámico de un sistema de lecho fluidizado en paralelo con diferentes configuraciones para lograr mayor estabilidad que en el sistema de lecho fluidizado inverso convencional, en base a las características de fluidización y expansión del lecho.

Metodología a desarrollar

Primera etapa

Dispositivo experimental

El reactor esta conformado por tres tubos de acrílico en paralelo, cada uno con capacidad de 333 mL, individualmente tienen la función de un lecho fluidizado. Un diagrama esquemático del reactor se muestra en la Figura 1.

La recirculación del efluente se realiza con una sola bomba marca Aquasub con capacidad de 450 L/h y altura máxima de 0.90 m, ésta alimenta un tanque de distribución que a su vez proporciona el flujo de alimentación a cada sección de los lechos fluidizados inversos.

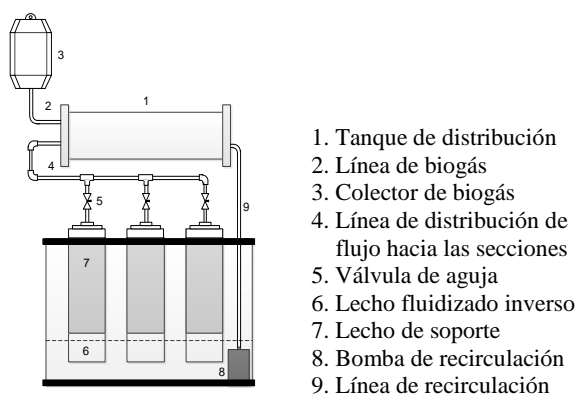


Figura 1 Diagrama esquemático del reactor

Para regular el flujo se utilizó una válvula de aguja de 1/8" marca Parker[®], en base al número de vueltas a la aguja se determinó la velocidad y el flujo (Tabla 1).

Velocidad	Flujo (mL/min)
1	16
2	34
3	100
4	126
5	144
6	232
7	288
8	328

Tabla 1 Flujos utilizados en las pruebas hidrodinámicas

Pruebas hidrodinámicas

Como medio de soporte se empleó Extendsphere[™], el cual consiste en pequeñas partículas de sílice con una burbuja de aire en el interior. Tiene una densidad de 0.69 g/mL y un diámetro promedio de partícula de 170 μm [Alvarado-Lassman, 2008], con una superficie específica muy grande de 20,000 m^2/m^3 . Este soporte fue seleccionado porque tiene una densidad inferior al agua y su forma esférica permite una expansión más homogénea del lecho.

Las pruebas se realizaron con 10, 20, 30 y 40% de soporte en base al volumen útil de los RLFI como se muestra en la Tabla 2.

% volumen	mL Extendsphere [™]	cm de lecho
10	29	1.8
20	57	3.6
30	86	5.4
40	118	7.2

Tabla 2 Volúmenes de soporte

Se colocó el soporte en los RLFI y se esperó aproximadamente unos 30 min a que el lecho se compactará, después se hicieron pasar diferentes flujos de agua a través del mismo por la parte superior de menor a mayor, esperando entre cada uno a que el lecho compactará para tomar correctamente la medición del lecho expandido.

Segunda etapa

Dispositivo experimental

Durante el desarrollo de las pruebas hidrodinámicas en la primera etapa de este trabajo, el funcionamiento del reactor fue apropiado, sin embargo se detectaron ciertas oportunidades de mejora para el control y distribución del flujo en las tres secciones. Por ello se incremento la relación altura diámetro de 21/5 a 60/5 de los tubos, con la finalidad de observar el fenómeno de la fluidización y expansión del lecho más fácilmente.

Pruebas hidrodinámicas

Para las pruebas hidrodinámicas se llevo a cabo el mismo procedimiento que en la primera etapa, con 25, 30 y 35% de soporte en base al volumen útil de los RLFI, siendo el 30% el que obtuvo mejores resultados.

Con la finalidad de mejorar la distribución del flujo y expansión del lecho, se realizarón pruebas con dos configuraciones; lecho fijo y lecho semifluidizado. Una placa difusora en la parte superior del lecho fluidizado soporta el lecho fijo que se compone de tubos de polietileno corrugado. El lecho semifluidizado se forma restringiendo la expansión del lecho fluidizado por medio de una placa perforada que se ubica en la parte inferior del lecho.

Resultados

Primera etapa

Las diferentes pruebas hidrodinámicas que se desarrollaron se muestran en la Tabla 3. Todos los experimentos fueron realizados por triplicado.

Cantidad de soporte (%)	Velocidad descensional (m/h)							
	0.60	1.28	3.77	4.75	5.43	8.75	10.86	12.37
10	x	x	x	x	x	x	x	x
20	x	x	x	x	x	x	x	x
30	x	x	x	✓	✓	✓	✓	-
40	x	x	x	x	-	-	-	-

✓ Expansión, x Sin expansión, - Excede expansión

Tabla 3 Condiciones hidrodinámicas experimentales

Al utilizar 10 y 20% de soporte con altas velocidades ocurrió una ligera expansión, que al transcurso de 30 min el lecho nuevamente se compactó. En el caso del 40% de soporte y velocidades más altas de 5.43 m/h causó pérdidas considerables de soporte. Con 30 % de soporte y velocidades mayores a 4.75 m/h y menores a 10.86 m/h, se observó una adecuada y gradual expansión del lecho. Teniendo en cuenta la velocidad descensional y la expansión del lecho, una cantidad de soporte igual al 30% del volumen de trabajo del reactor presenta buena estabilidad. La expansión relativa del lecho (30% de soporte) se muestra en la Tabla 4, esta se define por la relación de la altura del lecho estático a la altura de la columna (H/H₀).

Velocidad	Velocidad descensional (m/h)	Lecho (cm)	% de expansión del lecho
1	0.60	5.4	30
2	1.28	5.4	30
3	3.77	5.4	30
4	4.75	11	61
5	5.43	14	77
6	8.75	16	88
7	10.86	18	100

Tabla 4 Expansión del lecho (30% de soporte)

En la Figura 2 se observa el perfil de la expansión relativa del 30% de soporte de Extendosphere™ contra la velocidad descendional. Conforme la velocidad aumenta gradualmente la expansión del lecho también, alcanzando hasta un 100% de la expansión.

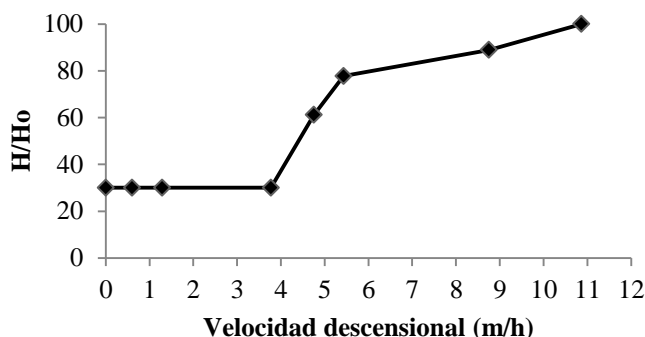


Figura 2 Expansión del 30% de soporte

Segunda etapa

Los resultados obtenidos de la expansión del lecho con un 30% de soporte y empleando tres tipos de configuraciones diferentes (sin placas, con lecho fijo y lecho semifluidizado) se muestran en las Tablas 5, 6 y 7. Todos los experimentos fueron realizados por triplicado.

Velocidad	Velocidad descendional (m/h)	Lecho (cm)	% de expansión
1	0.60	15	30.00
2	1.28	15	30.00
3	3.77	16	31.37
4	4.75	17	33.33
5	5.43	20	39.22
6	8.75	24	47.06
7	10.86	51	100.00

Tabla 5 Expansión del lecho (30% soporte) sin placas

Velocidad	Velocidad descendional (m/h)	Lecho (cm)	% de expansión
1	0.60	15	30.00
2	1.28	15	30.00
3	3.77	20	39.22
4	4.75	26	50.98
5	5.43	29	56.86
6	8.75	51	100.00

Tabla 6 Expansión del lecho (30% soporte) con lecho fijo

Velocidad	Velocidad descendional (m/h)	Lecho (cm)	% de expansión
1	0.60	17.5	30.00
2	1.28	19	34.31
3	3.77	28	37.25
4	4.75	30	54.90
5	5.43	37	58.82
6	8.75	50	98.04

Tabla 7 Expansión del lecho (30% soporte) con lecho semifluidizado

Cuando al lecho fluidizado no se colocó ninguna placa, el % de expansión fue solamente del 47%, con velocidades entre 0.60 m/h y 8.75 m/h sin tener perdida de soporte. El lecho fijo mejoró la distribución del flujo, se obtuvo un % de expansión del 57%, con velocidades entre 0.60 m/h y 5.43 m/h sin perdida de soporte. Con el lecho semifluidizado se obtuvo la mejor distribución del flujo, la expansión fue adecuada y gradual hasta llegar a un 98%, con velocidades entre 0.60 m/h y 8.75 m/h.

En la Figura 3 se observa el perfil de la expansión relativa del 30% de soporte contra la velocidad descendional de las tres configuraciones que se emplearon.

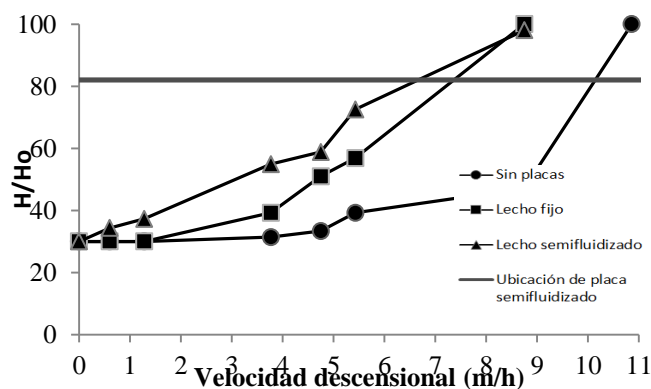


Figura 3 Expansión del soporte (30%) con diferentes configuraciones

La expansión mínima se observa en todas las configuraciones para las velocidades inferiores a 1.28 m/h, debido a la aglomeración de partículas y a velocidades superiores de 1.28 m/h incrementa gradualmente la expansión. Una velocidad de 5.43 m/h se puede establecer para una expansión del lecho adecuada, con un requerimiento mínimo de energía para el Extendosphere™.

Uno de los inconvenientes que aún se presentan en el sistema en paralelo es que requiere de un control mucho más sofisticado para realizar la distribución de flujo en las tres secciones, ya que el flujo individual depende de la expansión del lecho que a su vez depende de la colonización de cada sección. De acuerdo con [Schreyer y Coughlin, 1999] a medida que se realiza la colonización del medio de soporte, se observa estratificación del lecho lo que en nuestro caso se verá reflejado en un incremento de la densidad del soporte de manera dinámica lo que implica variaciones en la expansión utilizando el mismo flujo de alimentación.

Conclusiones

Evaluando los aspectos hidrodinámicos de velocidad descendional y la expansión del lecho, los resultados indican que al utilizar un 30% de soporte se presenta una buena estabilidad en la fluidización.

De las diferentes configuraciones que se emplearon, el lecho semifluidizado fue la que obtuvo mejores resultados, se observó una adecuada y gradual expansión del lecho que llegó a un 98% sin pérdidas de soporte.

En cuanto al sistema en paralelo aún presenta inconvenientes, requiere de un control más sofisticado para realizar la distribución de flujo en las tres secciones.

Referencias

- Alvarado-Lassman, A., Rustrián, E., García-Alvarado, M. A., Rodríguez-Jiménez, G. C. y Houbron, E. (2008). Brewery wastewater treatment using anaerobic inverse fluidized bed reactors. *Bioresource Technology*. 99(8), 3009-3015.
- Cervantes-Zepeda, A. I., Cruz-Colín, M. R., Aguilar-Corona, R., Castilla-Hernández, P. y Meraz-Rodríguez, M. (2011). Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada en un reactor UASB escala piloto. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10(1), 67-77.
- Chun-Sheng, W., Ju-Sheng, H. y Hsin-Hsien, C. (2006). Influence of internal biogas production on hydrodynamic behavior of anaerobic fluidized-bed reactors. *Water Research*. 46(1), 126-136.
- Chong, S., Kanti, S. T., Kayaalp, A. y Ming, A. H. (2012). The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment. *Water Research*. 46(11), 3434-3470.
- Escudié, R., Cresson, R., Delgenès., J. P. y Bernet, N. (2011). Control of start-up and operation of anaerobic biofilm reactors: An overview of 15 years of research. *Water Research*. 45(1), 1-10.
- Nicolella, C., van Loosdrecht, M. C. M. y Heijnen, J. J. (2000). Wastewater treatment with particulate biofilm reactors. *Journal of Biotechnology*. 80(1), 1-33.
- Villegas-Peña, O. G. y Pérez-Cortes, Y. (2004). Diseño teórico de un reactor híbrido mediante sistemas no convencionales para el tratamiento de las aguas negras. Tesis de Licenciatura. Instituto Politécnico Nacional.

Schreyer, H. B. y Coughlin, R. W. (1999). Effects of stratification in a fluidized bed bioreactor during treatment of metalworking wastewater. *Biotechnology and bioengineering*. 63(2), 129-140.

Sokoł, W., Ambaw, A. y Woldeyes, B. (2008). Biological wastewater treatment in the inverse fluidised bed reactor. *Chemical Engineering Journal*. 150(1), 63-68.

Estudio de la incorporación de agregados pétreos en resinas para concreto polimérico

ORTEGA, Jesús*†, CAMARGO, Tania, SÁNCHEZ, Cindy y LEÓN, Yolanda

Recibido 19 de Enero, 2015; Aceptado 12 de Marzo, 2015

Resumen

En este trabajo se analiza el efecto de las cargas pétreas en el peso específico y en la viscosidad de la resina para concreto polimérico. Estos concretos han mostrado grandes ventajas sobre los hidráulicos, por lo que la búsqueda de mejoras en los mismos es importante y tema de actualidad. En este sentido y en la búsqueda de un producto más ligero y manejable, aquí se estudia el efecto de las cargas utilizando tres resinas comerciales, RP7000, M30 y MR250, agregando grano fino, calcita y micro esfera de aluminio silicato. En el peso específico con microesfera se alcanza un valor medio de 1.85, que representa una reducción del 19% con relación a la resina original, mientras que con el grano fino y calcita, las reducciones son del 6 y 8%. En la evaluación de las propiedades reológicas, se concluyó como adecuado el tratamiento de las resinas RP7000 y MR250 con los agregados, ya que las viscosidades se mantuvieron entre 400 y 600 cp, no así para la M30. Estos resultados aportan elementos para el desarrollo de una fórmula para la elaboración de un concreto polimérico ligero y de alta resistencia química.

Concreto polimérico, resina poliéster, cargas ligeras, propiedades de flujo

Abstract

In this study is analyzed the effect of the loads on the viscosity and specific gravity of the resin for polymer concrete. These concretes have shown great advantages on hydraulic, so the search for improvements in them is important and current issue. In this respect and in search of a lighter and handier product, the effect of the loads is studied using three commercial resins, RP7000, M30 and MR250, adding fine-grained, calcite and micro sphere aluminum silicate. In the specific gravity microsphere an average value of 1.85, which represents a reduction of 19% compared to the original resin is reached, while the fine-grained and calcite, reductions are 6 and 8%. The evaluation of the rheological properties, the treatment of RP7000 and MR250 resins aggregates concluded as appropriate because the viscosities remained between 400 and 600 cp, not to M30. These results provide elements for developing a formula for the development of a lightweight polymer concrete and high chemical resistance.

Polymer concrete, polyester resin, light loads, flow properties

Citación: ORTEGA, Jesús, CAMARGO, Tania, SÁNCHEZ, Cindy y LEÓN, Yolanda. Estudio de la incorporación de agregados pétreos en resinas para concreto polimérico. Revista de Energía Química y Física 2015, 2-2: 295-300

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: chucho-bol@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El objetivo de este trabajo es analizar el efecto de las cargas en las propiedades de flujo y peso específico de la resina para concreto polimérico. Si bien los concretos poliméricos tienen ventajas sobre los hidráulicos, su peso específico es similar. Dado que un concreto con menor peso específico tendría ventajas en su manejo y flexibilidad de aplicación, surge la idea de reducir esta propiedad empleando agregados ligeros que no tengan efecto notorio en la reducción de las propiedades mecánicas. Para esto, se debe estudiar cómo estas cargas afectan la matriz polimérica, es decir, a la resina poliéster que se usó para su elaboración. Determinando el efecto de las cargas en las propiedades de la resina, será posible desarrollar una fórmula para la creación de un concreto polimérico que pueda ser aplicado como elemento estructural ligero y de alta resistencia química. Aplicaciones prácticas de este producto se podrán dar en el tratamiento de aguas negras al sustituir elementos de concreto en los canales o como revestimiento de paredes de tanques.

Antecedentes

El uso de los polímeros ha tenido un importante crecimiento en los últimos 45 años, ya que se han empleado ampliamente, ya sea como resinas para impregnación de concreto (PIC: polymer concrete impregnated), concreto hidráulico modificado (PMC: polymer-modified concrete) y concreto polimérico (PC: polymer concrete). El Instituto Americano del Concreto (ACI: American Concrete Institute) considera estos tres tipos de concretos poliméricos en su Norma ACI-548 (ACI, 2009). El uso de resinas para impregnación de concreto se inicia como una solución para la reparación de fisuras y relleno de poros.

En este caso se emplea el monómero de baja viscosidad (metil metacrilato), el cual se polimeriza por radiación, catálisis o acción térmica dentro de las fisuras o poros, mejorando la resistencia mecánica del elemento del concreto entre tres y cuatro veces (Fowler, 1999) y reduciendo la absorción de humedad. La Figura 1 muestra el proceso de impregnación de un elemento de concreto. Este tipo de compuesto, por su alta resistencia mecánica y durabilidad, se emplea en durmientes para ferrocarril, pavimentación de puentes y fábricas, tubos de desagüe, tanques de almacenaje para agua de mar, albercas y otros (United Nations, 2002).

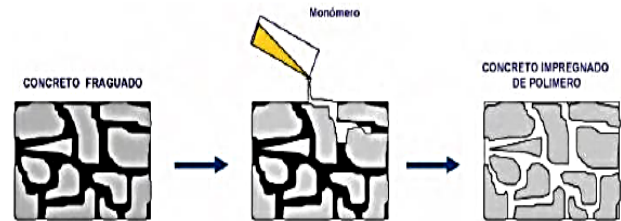


Figura 1 Proceso de impregnación con un monómero. ACI. (2009)

Resinas empleadas en concretos poliméricos.

El desarrollo de materiales compuestos a base de polímeros sintéticos ha hecho posible producirlos con una amplia gama de propiedades; por ejemplo, las resinas epóxicas son utilizadas en pisos industriales, restauración de estructuras deterioradas, aplicaciones donde se requiere alta resistencia química y mecánica y alta adherencia a otros materiales. Esta resina ofrece también un bajo índice de encogimiento y baja absorción de agua pero su costo es alto (8 a 10 USD/kg).

Las resinas poliéster presentan buena resistencia química y buena adherencia a otros materiales, pero exhiben un alto encogimiento y poca resistencia a medios agresivos, son ampliamente usados en la industria de la construcción debido a su bajo costo (3 a 5 USD/kg).

En la Tabla 1 se presentan las propiedades de los concretos poliméricos elaborados con las resinas epóxicas, poliéster y acrílicas (United Nations, 2002).

Resina	Densidad (kg/dm ³)	Absorción de agua (%)	Resistencia a la compresión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Resistencia a la flexión (Gpa)
Polimetil metacrilato	2.0-2.4	0.05-0.6	70-210	3.0-4.0	30-35
Epóxica	2.0-2.4	0.02-1.0	50-150	2.0-9.0	15-50
Poliéster	2.0-2.4	0.3-1.0	50-150	2.0-4.0	15-45

Tabla 1 Propiedades de concretos poliméricos elaborados con diversas resinas

Resina poliéster.

La resina, que en este caso funciona como aglutinante o matriz, debe ser capaz de mojar y adherir las cargas, proteger el concreto del medio ambiente, evitando la absorción de agua, y transferir la carga a los agregados. Resultan importantes no solo las propiedades mecánicas y químicas de la resina, sino también la viscosidad y la capacidad de incorporación de cargas.

Las resinas poliéster empleadas en el estudio fueron las siguientes:

- RP 7000, que es una resina no tixotrópica de baja viscosidad (alrededor de 200 cp).
- MR250, que es una resina tixotrópica, con una buena capacidad de humectación de cargas.
- M30, que es una resina virgen empleada para vaciados con altas concentraciones de cargas, la cual debe prepararse previamente agregándole estireno y un promotor de octato de cobalto. En este caso se le agregó el 18% de estireno, para no afectar las propiedades mecánicas de la resina.

Metodología

La capacidad de carga de cada resina se realizó agregando microesfera de vidrio gradualmente hasta que la pasta formada ya no es manejable.

Prácticamente todas ellas tienen una capacidad alta (cercana al 50%). Obviamente, a medida que se agrega la microesfera de aluminio silicato, el peso específico se reduce a valores de 0.76; esto es una reducción del 37% con respecto al peso específico medio de las resinas. Estos datos se reportan en la Tabla 2.

Tipo de resina	Contenido máximo de microesferas	Peso específico
MR250	45%	0.76
M30+20%estireno	47%	0.77
RP7000	48%	0.76

Tabla 2 Peso específico de las mezclas resina-microesferas de vidrio y contenido máximo de agregado

Efecto de las cargas en el peso específico de la resina.

Como se ha visto, la microesfera de aluminio silicato reduce el peso específico de la resina; a diferencia de los agregados de partículas de marmolina, como el carbonato de calcio y el grano fino. La Figura 2 muestra el efecto de los tres tipos de agregados empleados en este trabajo experimental. En este caso se grafica contra el contenido en volumen de agregado, dada la diferencia de pesos específicos de los agregados.

En las tres relaciones, la variación del peso específico dentro del rango ensayado sigue un comportamiento lineal, como se muestra en la Tabla 3. Todos los coeficientes de regresión tienen un valor mayor a 0.99.

Sistema	Ecuación	Coefficiente de regresión
Carbonato-resina	$Y=1.415x+1.227$	0.995
Grano fino-resina	$Y=-0.969x+1.213$	0.994
Microesferas-resina	$Y=-0.725+1.227$	0.996

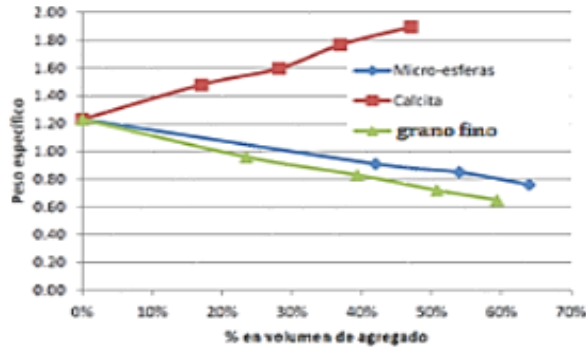


Figura 2 Efecto de agregados en el peso específico de la resina

Efecto de las cargas en las propiedades de flujo de la resina.

La viscosidad de las resinas se ve incrementada por la adición de cargas, lo que puede representar un problema en el proceso de vaciado del material compuesto en el molde debido a una disminución del flujo, lo que genera la inclusión de aire y oquedades, entre otros problemas.

De aquí la necesidad de evaluar el efecto de los tres tipos de carga empleados: grano fino, microesfera de aluminio silicato y calcita (carbonato de calcio). El estudio se enfoca básicamente en determinar la viscosidad en función del contenido de carga y la rapidez de corte del ensayo.

Resultados

Las Figuras 3 y 4 muestran los rangos de pesos específicos obtenidos en las diversas formulaciones ensayadas y la variación con respecto al peso específico promedio del concreto polimérico normal (2,300 kg/m³).

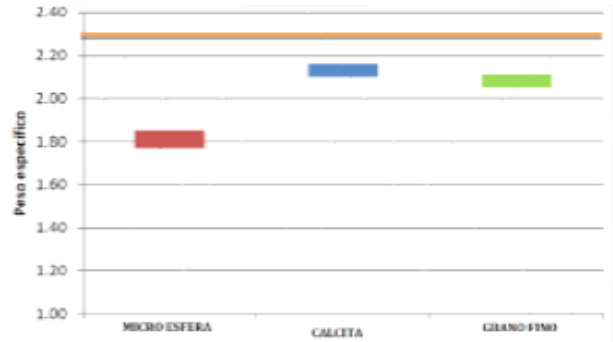


Figura 3 Rango de valores de p.e. de los concretos poliméricos con microesfera, calcita y grano fino

La evaluación de las propiedades reológicas de las resinas se realizó empleando un viscosímetro. Las curvas obtenidas para las tres resinas se muestran en la Figura 5. Como puede observarse, la resina RP 7000, es no tixotrópica, al igual que la resina M30, pero con una viscosidad siete veces menor que la M30.

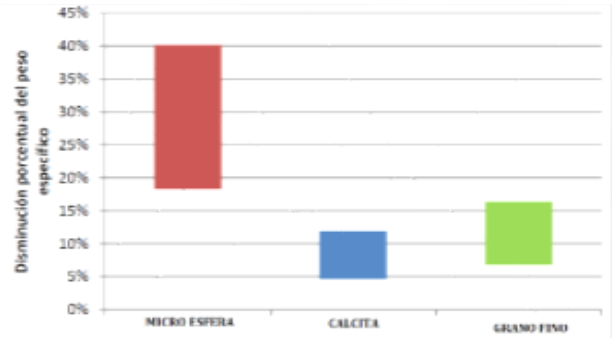


Figura 4 Rangos de disminución del peso específico de los concretos poliméricos ligeros

Es decir, del orden de 200 cp. Por su parte, la resina MR250 tiene un comportamiento tixotrópico con un índice tixotrópico de 3.05, por lo que a rpm mayores que 50 la viscosidad baja a viscosidades del orden de 500 cp.

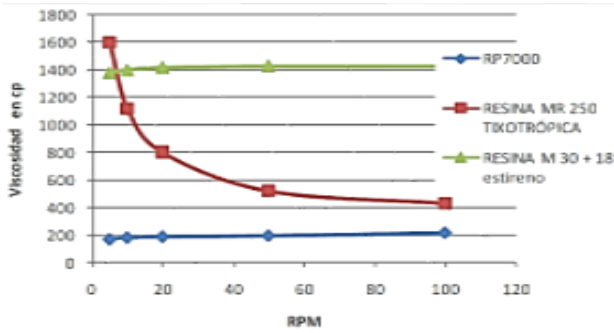


Figura 5 Curvas de viscosidades de las resinas a diferentes velocidades de corte

El efecto de las cargas en la viscosidad de las diferentes resinas seleccionadas para la elaboración de las muestras de concreto polimérico ligero puede apreciarse en la Figura 6. Para el caso de la resina M30, esta propiedad se incrementa sustancialmente conforme se aumenta el porcentaje en volumen de agregado ligero (de 800 a 1600 cp).

En las resinas restantes (MR 250, PP 70x60) la viscosidad no cambia radicalmente en los rangos propuestos de porcentaje de agregado ligero en volumen a utilizar (del 15 al 25 %), por lo que se consideraron adecuadas para la preparación de los especímenes, ya que estuvieron entre 400 y 600 cp. Por otra parte, la resina flexible, aunque cumple con mantener una baja viscosidad, fue descartada por su baja resistencia mecánica a la compresión.

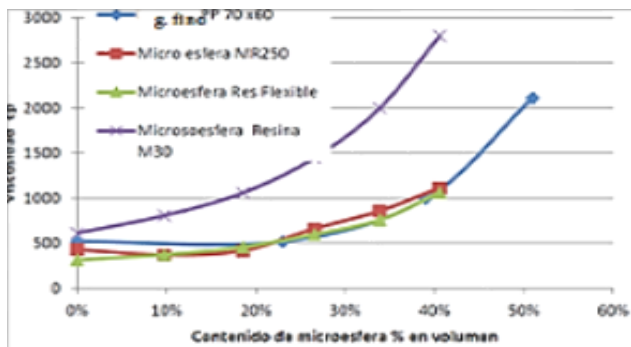


Figura 6 Efecto en la viscosidad (a 100 rpm) en las resinas al incorporar agregados ligeros

Con el fin de ubicar el efecto de los agregados ligeros en la viscosidad de la resina (en este caso con la 70x60) con respecto al de un agregado tradicional como la calcita, los ligeros (grano fino y microesfera de aluminio silicato) también incrementan esta propiedad, aunque a niveles inferiores. Como puede observarse en la Figura 7, a cargas menores de 30% en volumen, la viscosidad se mantiene prácticamente constante. A partir de este porcentaje, en la resina cargada con calcita, al aumentar la concentración, la viscosidad se incrementa de manera exponencial. En el caso de la resina cargada con grano fino la viscosidad empieza a incrementarse a concentraciones del 50% en volumen, con un incremento menos marcado. Por ejemplo, para un contenido del 40% en volumen la viscosidad con calcita es más del doble de los valores exhibidos por el agregado de grano fino y de microesfera de aluminio silicato.

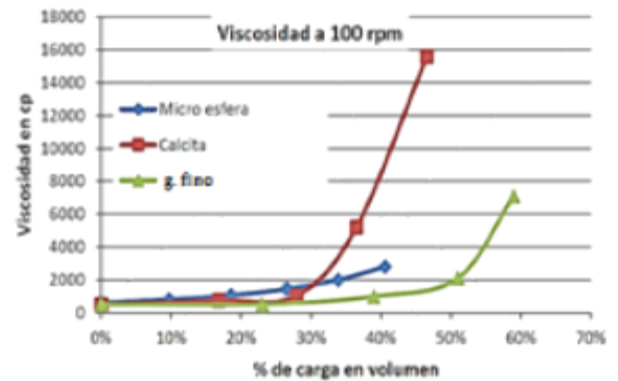


Figura 7 Efecto del tipo de agregado en la viscosidad de la resina en función de su contenido

Conclusiones

El efecto de los agregados ligeros, tanto microesfera de aluminio silicato como el agregado fino, en la disminución de peso específico es apreciable, particularmente con el uso de microesfera, con la que se alcanza un valor medio de 1.85, que representa una reducción del 19%. En el caso del grano fino, las reducciones son solo del 6 y 8%.

El estudio de la viscosidad en los productos indica que cargas inferiores a 30% no afectan esta propiedad.

Estos resultados muestran que es posible desarrollar una fórmula para la creación de un concreto polimérico que pueda ser aplicado como elemento estructural ligero y de alta resistencia química.

Referencias

ACI. (2009). *ACI 548.1R-09 Guide for the Use of Polymers in Concrete*

FOWLER, D. (1999). *Current status of polymer concrete in the United States*. In 9° International Congress on Polymer in Concrete, Universidad de Estudios de Bolonia. Italia, pp.37-44.

UNITED NATIONS. (2002). *Review of science and technology in ESCWA member countries*. Economic and Social Commission for Western Asia, pp. 152, 2002. Recuperado de <http://books.google.com.br/books?id=0uH92LlOsIkC>>acessadoem abr.

Padilla, A. (2005). *Concreto polimérico, opción para la construcción*. 3er Congreso Nacional sobre Práctica Profesional, Docencia y Capacitación en Ingeniería Civil; Cholula, Puebla.

Ramírez, J. L. (1999). *La múltiple identidad del concreto*. Informes de la Construcción, Vol. 49, N°454.

Arzaluz, J. L. (2002). *Concreto polimérico*. 28 al 29 de Noviembre, publicación del Primer Curso de Tecnología Avanzada, Universidad Iberoamericana, México D.F.

Instrucciones para Autores

A. Envío de artículos con las áreas de Energía Química y Física

B. La edición del artículo debe cumplir las siguientes características:

- Redactados en español o en inglés (preferentemente). Sin embargo, es obligatorio presentar el título y el resumen en ambos idiomas, así como las palabras clave.

- Tipografía de texto en Times New Roman #12 (en títulos- Negritas) y con cursiva (subtítulos- Negritas) #12 (en texto) y # 9 (en citas al pie de página), justificado en formato Word. Con Márgenes Estándar y espaciado sencillo.

- Usar tipografía Calibre Math (en ecuaciones), con numeración subsecuente y alineación derecha: Ejemplo;

$$\sigma \in \Sigma: H\sigma = \cap_{s < \sigma} Hs \quad (1)$$

- Comenzar con una introducción que explique el tema y terminar con una sección de conclusiones.

- Los artículos son revisados por los miembros del Comité Editorial y por dos dictaminadores anónimos. El dictamen será inapelable en todos los casos. Una vez notificada la aceptación o rechazo de un trabajo, su aceptación final estará condicionada al cumplimiento de las modificaciones de estilo, forma y contenido que el editor haya comunicado a los autores. Los autores son responsables del contenido del trabajo y el correcto uso de las referencias que en ellos se citen. La revista se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los textos a nuestra política editorial.

C. Los artículos pueden ser elaborados por cuenta propia o patrocinados por instituciones educativas ó empresariales. El proceso de evaluación del manuscrito no comprenderá más de veinte días hábiles a partir de la fecha de su recepción.

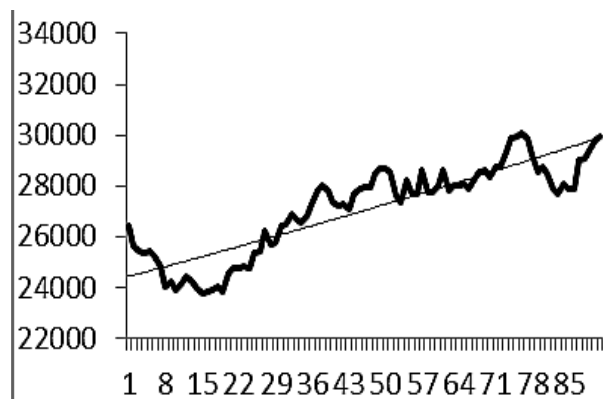
D. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de selección sea anónimo.

E. Los cuadros, gráficos y figuras de apoyo deberán cumplir lo siguiente:

- Deberán explicarse por sí mismos (sin necesidad de recurrir al texto para su comprensión), sin incluir abreviaturas, indicando claramente el título y fuente de consulta con referencia abajo con alineación izquierda en tipografía número 9 con negritas.

- Todo el material de apoyo será en escala de grises y con tamaño máximo de 8cm de anchura por 23cm de altura o menos dimensión, además de contener todo el contenido editable

- Las tablas deberán ser simples y exponer información relevante. Prototipo;



Gráfica 1. Tendencia determinista versus estocástica

F. Las referencias bibliográficas se incorporarán al final del documento con estilo APA.

La lista de referencias bibliográficas debe corresponder con las citas en el documento.

G. Las notas a pie de página, que deberán ser usadas sólo excepcionalmente para proveer información esencial.

H. Una vez aceptado el artículo en su versión final, la revista enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN-Bolivia únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del artículo. El autor tendrá un plazo máximo de 10 días naturales para dicha revisión. De otra forma, se considera que el (los) autor(es) está(n) de acuerdo con las modificaciones hechas.

I. Anexar los Formatos de Originalidad y Autorización, con identificación del Artículo, autor (s) y firma autógrafa, de esta manera se entiende que dicho artículo no está postulado para publicación simultáneamente en otras revistas u órganos editoriales.

Formato de Originalidad



Sucre, Chuquisaca a ____ de ____ del 20____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Sucre, Chuquisaca a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN-Bolivia a difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN-Bolivia to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

ISSN-2410-3934



www.ecorfan.org