





ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

*No. 13 Julio - Diciembre 2017*

# *Revista Tecnocientífica URU*



**U**niversidad **R**afael **U**rdaneta

---

***Revista Tecnocientífica URU***

ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

2017© Fondo Editorial Biblioteca Universidad Rafael Urdaneta  
Facultad de Ingeniería  
Maracaibo, Venezuela

Diseño y Maquetación: Lcda. Hosglas Sanchez

SE ACEPTAN CANJES

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta revista en cualquier forma, sin la autorización de los editores.



FONDO EDITORIAL BIBLIOTECA

**U**niversidad **R**afael **U**rdaneta

---

## ***Revista Tecnocientífica URU***

ISSN: 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

### **Comité Editorial**

Profesor Jubert Pérez  
Profesor Sergio de Pool  
Profesos Edixon Gutiérrez  
Profesora Jhanna Brieva

Profesor Luis Rojas  
Profesora Russet Riquelme  
Profesor Cezar García  
Profesora Jenny Márquez

Profesor Alfredo Villalobos  
Editor – Jefe

Br. María Paula Lastra  
Asistente Editorial

### **Comité de Asesores**

MSc. Oscar Urdaneta (Venezuela)  
Dr. Shyam Kalla (India)  
Dr. Cezar García (Venezuela)  
Dr. José Sarabia (Venezuela)  
Dr. José Rincón (Venezuela)  
MSc. Zulay Mármol (Venezuela)  
Dra. Cateryna Aiello (Venezuela)  
Dra. Elba Michelena (Panamá)  
Dr. Rafael Aracil (España)  
MSc. Salvador Conde (Venezuela)  
Dr. Ever Morales (Ecuador)  
Dra. Nola Fernández (Venezuela)  
Dr. Helí Lugo (Venezuela)  
Dr. Ras Patnaik (Estados Unidos)  
Dr. Gerardo Aldana (Venezuela)  
Dra. Susana Salinas (Estados Unidos)  
MSc. Lenin Herrera (Venezuela)  
Dra. Laugeny Díaz (Venezuela)

Dra. Anali Machado (Canadá)  
MSc. Ramón Cadenas (Venezuela)  
Dr. Maulio Rodríguez (Venezuela)  
Dr. Katsuyuki Nishimoto (Japón)  
Dr. Jorge Sánchez (Venezuela)  
Dra. Yaxcelys Caldera (Venezuela)  
Dra. Oladis de Rincón (Venezuela)  
Dr. Nelson Márquez (Venezuela)  
Dr. Ramón Cova (Canadá)  
Dr. Mourad E.H. Ismail (Estados Unidos)  
Dra. Marinela Colina (Venezuela)  
Dr. Freddy Isambert (Venezuela)  
Dr. Miguel Sánchez (Venezuela)  
Dr. Jorge Barrientos (Venezuela)  
Dr. Ernesto Cornieles (Venezuela)  
MSc. Augusto Galo (Venezuela)  
MSc. Nerio Villalobos (Venezuela)

***Revista Tecnocientífica URU*** es un instrumento de divulgación científica adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela. Es una revista arbitrada con periodicidad semestral, contentiva de artículos científicos originales no publicados en las áreas de Ingeniería y Arquitectura y otras disciplinas directamente relacionadas con éstas, de autoría individual o colectiva, que cumplan con las normas de publicación.

La correspondencia debe ser enviada a: Editor Jefe, ***Revista Tecnocientífica URU***.

**Dirección:** Universidad Rafael Urdaneta, Av. 2 c/Calle 86, entrada Sur del Parque Vereda del Lago, Maracaibo, Venezuela.

Teléf. (58) (261) - 2000887, Fax (58)(261) 2000868. Correo electrónico: [revistatecnocientificauru@gmail.com](mailto:revistatecnocientificauru@gmail.com)

***La Revista Tecnocientífica URU*** está indizada en el Índice y Biblioteca Electrónica de Revistas Venezolanas de Ciencia y Tecnología REVENCYT (Código RVR-070)

# **Universidad Rafael Urdaneta**

Dr. Jesús Esparza Bracho, Rector  
Ing. Maulio Rodríguez, Vicerrector Académico  
Ing. Salvador Conde, Secretario

Ing. Oscar Urdaneta  
Decano de la Facultad de Ingeniería

Ing. Rómulo Rincón  
Decano (E) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ing. Jubert Pérez Zabala  
Director de la Escuela de Ingeniería en Computación

Ing. Nancy Urdaneta  
Directora de la Escuela de Ingeniería Civil

Ing. Arnaldo Largo  
Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

Ing. Nelson Molero  
Director de la Escuela de Ingeniería Química

Ing. Ana Irene Rivas  
Directora de la Escuela de Ingeniería Industrial

Ing. Carlos Belinskif  
Director de la Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones

Arq. Carlos Aguilar  
Director de la Escuela de Arquitectura

## Contenido

<b>Presentación</b>	9
Topología de Zariski y A-transformaciones <b>Topology of Zariski and A-transformations</b> <i>Edixo Rosales</i>	11
Producción de biodiesel a partir de las grasas extraídas de la borra de café mediante un proceso en dos etapas: esterificación con $H_3PO_4$ y transesterificación con KOH <b>Biodiesel production from spent coffee grounds extracted oil using a two-stage process: esterification with <math>H_3PO_4</math> and transesterification with KOH</b> <i>Andrés Camejo, Elsy Arenas, John Sánchez, Zulay Mármol, Cintia Chandler y Cateryna Aiello</i>	15
Evaluación del comportamiento bidimensional de un reactor de lecho fijo para la síntesis de dimetileter <b>Two-dimensional behaviour of a fixed bed reactor for dimethyl ether production</b> <i>Hector Suárez y Cezar García</i>	29
Efecto de la disponibilidad de nutrientes y la adición de coagulantes sobre la sedimentabilidad de lodos activados <b>Effect of the availability of nutrients and the addition of coagulants on the sedimentability of activated sludge</b> <i>Vanessa Finol, Isabel González, Lenin Herrera y Lewis Godoy</i>	47
Calidad física de aguas residuales de una industria avícola en un sistema de flotación por aire disuelto con coagulantes <b>Physical quality of wastewater from a poultry industry in a system dissolved air flotation with coagulants</b> <i>Yaxcelys Caldera, Mayra Sánchez y Edixon Gutiérrez</i>	57
Valoración económica como edificio histórico patrimonial a la antigua sede rectoral de la Universidad del Zulia <b>Economic valuation as a historical patrimonial building to the former rectory headquarters of the University of Zulia</b> <i>Carlos Sandoval y Yogry Castillo</i>	67
<b>Índice acumulado</b>	79
<b>Normas para la presentación de artículos</b>	91
<b>Guides for submitting articles</b>	95



## Presentación

### QUINQUENIO 2008 – 2012

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Urdaneta a través de sus Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Química, Ingeniería Industrial, Ingeniería de Computación, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería de Telecomunicaciones y Arquitectura, registra la elaboración de 905 Trabajos Especiales de Grado durante el Quinquenio 2008 – 2012, con la siguiente distribución mostrada en la Tabla 1:

**Tabla 1 Número de TEG en el Quinquenio 2008 – 2012**

Escuela	Número de TEG	Porcentaje
Civil	219	24,20
Química	83	9,17
Industrial	116	12,82
Computación	72	7,96
Eléctrica	79	8,73
Telecomunicaciones	46	5,08
Arquitectura	290	32,04
<b>Ingeniería</b>	<b>905</b>	<b>100,00</b>

Los Trabajos Especiales de Grado fueron clasificados según la orientación OPSU, a saber:

**i. Desarrollo de Innovaciones:** Aquellos TEG donde se mejoren algún producto, situación, proceso, contexto operacional o equipo, introduciendo un componente creativo en su diseño, desarrollo o evaluación.

**ii. Socio – Comunitario:** Aquellos TEG donde se realizan un conjunto de actividades concretas orientadas a lograr uno o varios objetivos, para dar respuestas a las necesidades, aspiraciones y potencialidades de las comunidades.

**iii. Socio – Productivo:** Aquellos TEG que impulsan el desarrollo de actividades generadoras de bienes y servicios útiles para nuestra sociedad, enmarcándose dentro del concepto de desarrollo endógeno, causando redes productivas para la promoción de la economía misma.

**iv. Preservación Ambiental:** Aquellos TEG referidos a la gestión ambiental, programas de monitoreo y control ambiental, manejo de residuos, reciclaje, tratamiento de efluentes, calidad del agua, calidad del aire, uso eficiente de la energía, entre otros.

En atención a las orientaciones anteriores, los Trabajos Especiales de Grado para el Quinquenio 2008 -2012 fueron clasificados con la distribución indicada en la Tabla 2:

**Tabla 2**

Escuela	Orientación 1	Orientación 2	Orientación 3	Orientación 4
Civil	113 51,60%	50 22,80%	31 14,15%	25 11,45%
Computación	57 79,20%	11 15,30%	4 5,50%	0 0%
Industrial	4 3,50%	11 9,50%	95 81,80%	6 5,20%
Química	34 41,00%	3 3,60%	33 39,80%	13 15,60%

**Cont. Tabla 2**

<b>Escuela</b>	<b>Orientación 1</b>	<b>Orientación 2</b>	<b>Orientación 3</b>	<b>Orientación 4</b>
Eléctrica	39 49,40%	2 2,50%	26 32,90%	12 15,20%
Telecomunicaciones	11 23,90%	21 45,70%	14 30,40%	0 0%
Arquitectura	20 6,90%	186 64,10%	77 26,60%	7 2,40%
Facultad de Ingeniería	278 30,72%	284 31,38%	280 30,94%	63 6,96%

En la Tabla 1, se observa que la Escuela de Arquitectura presenta la mayor realización de TEG con 290, luego aparece la Escuela de Ingeniería Civil con 219, seguidamente la Escuela de Industrial con 116 y la Escuela de Ingeniería Química con 83 TEG. Finalmente, el bloque de la Escuela de Ingeniería Eléctrica con 79, la Escuela de Computación con 72 y la Escuela de Telecomunicaciones con 46. La distribución anterior representa al mismo tiempo, la preferencia vocacional de los estudiantes por las carreras de Ingeniería y Arquitectura de URU.

En la Tabla 2, se presenta la distribución por Escuela y los resultados globales para la Facultad de Ingeniería, con las siguientes particularidades:

1. La distribución de trabajos especiales de grado para la Escuela de Ingeniería Civil luce equilibrada para todas las orientaciones.

2. La distribución de Trabajos Especiales de Grado para la Escuela de Computación se dirige fuertemente al Desarrollo de Innovación Tecnológica y es necesario relacionar proyectos a la Preservación Ambiental.

3. La distribución de Trabajos Especiales de Grado para la Escuela de Ingeniería Química señala que debe incrementar la realización de Proyectos Socio – Comunitarios.

4. La distribución de Trabajos Especiales de Grado para la Escuela de Ingeniería Industrial fortalece el desarrollo de Proyectos Socio – Productivos, se deben relacionar más proyectos hacia las áreas de Innovación Tecnológica y Preservación Ambiental.

5. La distribución de Trabajos Especiales de Grado para la Escuela de Ingeniería Eléctrica luce equilibrada entre las diferentes orientaciones, se deben relacionar más proyectos hacia la orientación de Socio – Comunitarios.

6. La distribución de Trabajos Especiales de Grado para la Escuela de Telecomunicaciones, se dirige fuertemente al Desarrollo de Proyectos Socio – Comunitarios y es necesario vincular proyectos hacia la Preservación Ambiental.

7. La distribución de Trabajos Especiales de Grado para la Escuela de Arquitectura se concentra entre Proyectos Socio – Comunitarios y Proyectos Socio – Productivos, sería conveniente analizar la realización de Proyectos hacia las orientaciones de Innovación Tecnológica y Preservación Ambiental.

Finalmente, la Facultad de Ingeniería – URU durante el Quinquenio 2008 – 2012, concentró la realización de los Trabajos Especiales de Grado de manera equilibrada entre las orientaciones Innovación Tecnológica, Socio – Comunitario y Socio – Productivo, con una participación débil en la orientación Preservación Ambiental.

**Profesor César García**  
**Coordinador de Desarrollo Académico URU**  
**Miembro del Comité Editorial**

# Topología de Zariski y A-transformaciones

**Edixo Rosales**

Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia.

Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta.

Recibido: 13-02-2017

Aceptado: 19-09-2017

## Resumen

Este trabajo estudia la regularidad Von Neumann de anillos conmutativos con unidad, a partir de la teoría de las A-transformaciones.

**Palabras clave:** Regularidad Von Neumann, A-transformaciones, Topología de Zariski.

## Topology of Zariski and A-transformations

### Abstract

This work studies the regularity Von Neumann commutative rings with unity, from the theory of A-transformations.

**Keywords:** Regularity Von Neumann, A-transformations, Topology of Zariski.

## Introducción

Consideremos un anillo conmutativo con identidad  $A$ , es conocido que  $X = \text{Spect}(A)$ , constituido por los ideales primos del anillo, forman un espacio topológico compacto, donde la familia de abiertos fundamentales, la determinan los  $X_r = \{P \in X : r \notin P\}$ , para cada  $r \in A$ . La topología  $\tau$ , determinada sobre  $X$  por la familia  $\{X_r\}_{r \in A}$ , se le llama la topología de Zariski del espectro primo del anillo  $R$ . El espacio topológico  $(X, \tau)$  generalmente no es de Hausdorff.

Un anillo conmutativo con identidad  $A$ , es regular de Von Neumann, si dado  $a \in A$ , existe  $b \in A$ , tal que  $a = ab^2$ . El espacio topológico  $(\text{Spect}(A), \tau)$  es Hausdorff, si sólo si,  $A$  es anillo regular de Von Neumann; de allí su importancia para nosotros.

Si  $f: A \rightarrow B$  es un morfismo entre anillos conmutativos con identidad, la aplicación  $f^*: \text{Spect}(B) \rightarrow \text{Spect}(A)$ , definidas por  $f^*(P) = f^{-1}(P)$  para cada  $P \in \text{Spect}(B)$  es continua. Muchas propiedades topológicas importantes tiene, de acuerdo a la naturaleza del morfismo  $f: A \rightarrow B$ . La referencia [1] contiene un estudio detallado y profundo sobre este tipo de aplicaciones.

Este trabajo tiene de alguna manera interés en caracterizar anillos regulares de Von Neuman, a partir de familia de aplicaciones continuas  $f_i^* : Spect(R) \rightarrow Spect(R_i)$ , asociadas a anillos regulares Von Neumann  $R_i$ .

## Topología de Zariski y A-transformaciones

Sean  $R, R_i$  anillos conmutativos con identidad y  $\{f_i : R_i \rightarrow R\}$  una familia de morfismos de anillos. Si consideramos  $X_i = Spect(R_i)$ ,  $X = Spect(R)$  y sus respectivas topologías de Zariski  $\tau_i, \tau$ ; sabemos que las funciones  $f_i^* : X \rightarrow X_i$ , definidas por  $f_i^*(P) = f^{-1}(P)$  para cada  $P \in X_i$ , forman una familia de funciones continuas. Llamemos  $A = \{f_i^* : X \rightarrow X_i\}$ .

Vamos a suponer que cada  $(X_i, \tau_i)$  es un espacio de Hausdorff, el cual se cumple particularmente si  $R_i$  es un anillo regular de Von Neumann. Se dice que  $\{P_d\}_{d \in D}$  (donde  $D$  es un conjunto dirigido) es una  $A$ -red, si  $P_d \xrightarrow{\tau_i} Q_i$ , para cada. Es decir,  $(X_i)_\tau$  dado un entorno fundamental de  $Q_i$ , existe  $j_0 \in D$  tal que,  $f_i^*(P_j) = f^{-1}(P_j) \in (X_i)_\tau \Rightarrow j \notin f^{-1}(P_j)$ , para todo  $j \succ j_0$ .

Se dice que las  $A$ -redes  $\{P_d\}_{d \in D}$  y  $\{P'_d\}_{d \in D}$  son equivalentes, si  $\lim f_i^*(P_d) = \lim f_i^*(P'_d)$  para cada  $i$ . Denotaremos con  $Y$ , al conjunto de todas las clases de equivalencias dadas sobre las  $A$ -redes. Cada clase que determina  $\{P_d\}_{d \in D}$ , se escribirá mediante  $\hat{P}_d$ . Es claro que si definimos por  $f_i^*(\hat{P}_d) = \lim f_i^*(P_d)$ , podemos dotar a  $Y$  de la topología débil inducida por la familia  $\hat{A} = \{f_i^* : Y \rightarrow X_i\}$ . Tenemos que  $(Y, \tau_d(\hat{A}))$  es un espacio de Hausdorff, donde  $\tau_d(\hat{A})$  representa la topología débil antes mencionada.

Es conocido que la aplicación  $e : (X, \tau_i) \rightarrow (Y, \tau_d(\hat{A}))$ , definida de manera natural por:

$$e(P) = \hat{P} \text{ es una aplicación continua y } \xrightarrow{\tau_d(\hat{A})} e(x) = Y.$$

Además que  $e : (X, \tau_i) \rightarrow (Y, \tau_d(\hat{A}))$  es una inmersión, si y sólo si, la familia  $A = \{f_i^* : X \rightarrow X_i\}$  es separadora de puntos. Las propiedades topológicas de las A-transformaciones pueden ser estudiadas en [2]. Como  $e$  es continua y  $X$  es compacto,  $e(X)$  es compacto; y al ser  $(Y, \tau_d(\hat{A}))$  un espacio de Hausdorff, tenemos que  $e(X)$  es cerrado y por lo tanto  $e(X) = Y$ .

El siguiente resultado es importante:

**Lema 1:** Sea  $f : (X, \tau) \rightarrow (W, \gamma)$  una aplicación continua entre espacios topológicos que es inyectiva: (1) Si  $(W, \gamma)$  es Hausdorff, entonces  $(X, \tau)$ . (2) Si  $(X, \tau)$  es compacto,  $\tau = \tau_d(\{f\})$  y  $(W, \gamma)$  es Hausdorff, localmente compacto y totalmente disconexo; entonces  $(X, \tau)$  es localmente compacto y totalmente disconexo.

**Demostración.** (1) Sean  $x, y \in X$  con  $x \neq y$ . Como  $f(x) \neq f(y)$ , existen abiertos  $U, V \in \gamma$ , tales que  $f(x) \in U, f(y) \in V$  y  $U \cap V = \emptyset \Rightarrow f^{-1}(U) \cap f^{-1}(V) = \emptyset$ . Se deduce el resultado.

(2) Veamos que  $(X, \tau)$  es localmente compacto. Sea  $x \in X$  y  $U \in \tau$  con  $x \in U$ . Existen  $V_i \in \gamma$ , tales que  $x \in f^{-1}(V_1) \cap \dots \cap f^{-1}(V_n)$ ; luego  $f(x_i) \in V_i$  y por lo tanto existe  $W_i$  entorno compacto de  $f(x_i)$ . Por lo tanto  $x \in f^{-1}(W_1) \cap \dots \cap f^{-1}(W_n)$  cerrado dentro de un espacio de Hausdorff y por lo tanto compacto. Es decir  $(X, \tau)$  es localmente compacto de Hausdorff.

Para ver que  $X$  es totalmente desconexo, consideremos  $x \in X$  y  $F$  un subconjunto cerrado de  $X$ , tal que  $x \notin F$ . Tenemos que  $f(x) \notin f(F)$  y  $f(F)$  es compacto y por lo tanto cerrado en  $W$ , ya que  $W$  es un espacio de Hausdorff. Como  $W$  es totalmente desconexo, existe un abierto-cerrado  $U \in \gamma$ , tal que  $f(x) \in U$  con  $f(F) \cap U = \emptyset$ . Se deduce que  $f^{-1}(U) \cap F = \emptyset$  con  $f^{-1}(U)$  un entorno abierto-cerrado de  $x$ . Esto prueba la parte segunda del lema.

**Teorema 1:** Si  $A = \{f_i^* : X \rightarrow X_i\}$  es separadora de puntos, entonces  $\frac{R}{\sqrt{R}}$  es anillo regular de Von Neumann.

**Demostración:** En efecto, al ser la familia  $A$  separadora de puntos, tenemos que  $e$  es una inmersión y  $e : (X, \tau_i) \rightarrow (Y, \tau_d(\hat{A}))$ , un homeomorfismo. Por lo tanto  $(X, \tau)$  es Hausdorff y como consecuencia,  $\frac{R}{\sqrt{R}}$  es un anillo regular Von Neumann. Realmente  $\tau = \tau_d(A)$ ,

**Corolario 1:** Si existe  $f_j \in \{f_j : R_i \rightarrow R\}$ , tal que  $f_j : R_i \rightarrow R$  es un epimorfismo, entonces  $\frac{R}{\sqrt{R}}$  es anillo regular de Von Neumann.

**Demostración:** En efecto,  $f_j^* : X \rightarrow V(\ker f_j)$  es un homeomorfismo y por lo tanto  $A = \{f_i^* : X \rightarrow X_i\}$  es separadora de puntos. Se aplica el teorema anterior.

**Teorema 1:** Sea  $f : A \rightarrow B$  un morfismo entre anillos conmutativos con unidad y  $A = \{f^* : Spect(B) \rightarrow Spect(A)\}$ , tal que  $(Spect(B), \tau_B)$  es Hausdorff. Si  $e : (Spect(B), \tau) \rightarrow (Y, \tau_d(\hat{A}))$  es una inmersión, entonces  $f^* : Spect(B) \rightarrow Spect(A)$  es inyectiva. Si además  $\ker f \subset \sqrt{A}$ , entonces  $f^* : Spect(B) \rightarrow Spect(A)$  es un homeomorfismo.

**Demostración:** Al ser  $e : (Spect(B), \tau) \rightarrow (Y, \tau_d(\hat{A}))$  una inmersión  $A = \{f^* : Spect(B) \rightarrow Spect(A)\}$  es separadora de puntos, luego  $f^* : Spect(B) \rightarrow Spect(A)$  es inyectiva. Si  $\ker f \subset \sqrt{A}$ , entonces  $\overline{f(Spect(B))}^{\tau_A} = Spect(A)$  y como  $(Spect(B), \tau_B)$  es Hausdorff, se tiene que  $f^*(Spect(B)) = Spect(A)$  y por lo tanto,  $f^*$  es un homeomorfismo.

Finalizamos este trabajo con la siguiente observación:

Si  $(X, \tau)$  es un espacio compacto de Hausdorff y  $A = C(X)$  es el anillo de las funciones continuas reales sobre el compacto  $X$ , tenemos que  $\hat{X} = Spect(\hat{A})$ , el espectro máximo de  $A$ , lo constituyen los ideales máximos de  $C(X)$ , donde  $m \in \hat{X}$ , si y sólo si,  $m = m_x = \{f \in C(X) : f(x) = 0\}$ . Se conoce por el lema de Urison que  $\tau$  viene determinada por los abiertos de la forma  $U_f = \{x \in X : f(x) \neq 0\}$

y en  $\hat{X}$  podemos considerar la topología  $\hat{\tau}$  determinada por la familia de abiertos  $\hat{U}_f = \left\{ m \in \hat{X} : f \notin m \right\}$ . La aplicación  $\varphi : (X, \tau) \rightarrow (\hat{X}, \hat{\tau})$ , definida mediante  $\varphi(x) = m_x$  es un homeomorfismo entre estos espacios topológicos. Vale, por lo tanto, el siguiente resultado:

**Teorema 2:** Sea  $f : A \rightarrow B$  un morfismo entre anillos conmutativos con unidad y  $A = \{ f^* : \text{Spect}(B) \rightarrow \text{Spect}(A) \}$ , tal que  $(\text{Spect}(B), \tau_B)$  es Hausdorff.

Consideremos  $\phi_1 : (\text{Spect}(B), \tau) \rightarrow (\text{Spect}(B), \hat{\tau})$ , definido por  $\phi_1(x) = m_x$  y  $\phi_2 : (Y, \tau_d(\hat{A})) \rightarrow (\hat{Y}, \tau_d(\hat{A}))$  definido por  $\phi_2(y) = m_y$ .  $\gamma : (\text{Spect}(B), \hat{\tau}) \rightarrow (\hat{Y}, \tau_d(\hat{A}))$  dada por es un homeomorfismo, si y sólo si,  $e : (\text{Spect}(B), \tau) \rightarrow (Y, \tau_d(\hat{A}))$  es una inmersión.

**Demostración:** Como  $\gamma \circ \phi_1(x) = \phi_2(e(x)) \Rightarrow \gamma = \phi_2 \circ e \circ \phi_1$ , de lo que se deduce lo pedido.

## Referencias bibliográficas

[1].-Atiyah M. F. y Macdonald I.G. "Introducción al Algebra Conmutativa". Editorial Reverté, S. A., Barcelona. 1978.

[2].-Wu H.: "Extension and new observations of Tychonoff, Stone Weirstrass Theorems, Compactifications and the Real Compactifications". Toplogy and its Aplicacions 16. 1983.

# **Producción de biodiesel a partir de las grasas extraídas de la borra de café mediante un proceso en dos etapas: esterificación con $H_3PO_4$ y transesterificación con KOH**

**Andrés Camejo<sup>1</sup>, Elsy Arenas<sup>2</sup>, John Sánchez<sup>2</sup>, Zulay Mármol<sup>2</sup>, Cintia Chandler<sup>2</sup> y Cateryna Aiello Mazzarri<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

<sup>2</sup>Laboratorios de Fermentaciones Industriales, Tecnología de Alimentos y Química Orgánica. Departamento de Ingeniería Bioquímica. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, estado Zulia, Venezuela

\*Autor de correspondencia: caiello@fing.luz.edu.ve

Recibido: 08-05-2017

Aceptado: 19-09-2017

## **Resumen**

Se estudió la producción de biodiesel a partir de las grasas extraídas de la borra del café, empleando un proceso en dos etapas. Primero, las grasas se sometieron a un proceso de esterificación para estudiar el efecto de la relación molar grasa/metanol, la concentración de catalizador ( $H_3PO_4$ ) y el tiempo de reacción sobre la conversión de los ácidos grasos libres (AGL) en ésteres metílicos. Se encontró que una doble esterificación en serie a 60°C y 100 rpm, a las mejores condiciones, relación molar grasa/metanol de 1:15, concentración de  $H_3PO_4$  de 2,5% durante 120 minutos, redujo la acidez de 30,72 hasta 1,99%, con una conversión de 93,55%. Luego, las grasas esterificadas se sometieron a un proceso de transesterificación catalizada con KOH en presencia de metanol a 60°C, separando la mezcla por decantación y purificando el biodiesel obtenido mediante lavados con agua acidulada. El biodiesel resultó ser una mezcla de los ésteres metílicos de los ácidos linoleico (48,40%), palmítico (36,21%), esteárico (8,69%) y oleico (6,69%), con una concentración total de  $112,924 \pm 7,768$  g/L. Las propiedades del biodiesel obtenido cumplen con los requerimientos de las Normas ASTM D-6751 y EN 14214 en cuanto a densidad y punto de inflamación. Sin embargo, el índice de acidez y la viscosidad resultaron mayores, limitando el uso del biodiesel producido directamente en motores diésel, pudiendo mezclarse con diésel comercial de petróleo para ajustar estos valores.

**Palabras clave:** Borra de café, biodiesel, esterificación, transesterificación,  $H_3PO_4$ .

## **Biodiesel production from spent coffee grounds extracted oil using a two-stage process: esterification with $H_3PO_4$ and transesterification with KOH**

### **Abstract**

The production of biodiesel from spent coffee grounds extracted oil, using a two-step process was studied. First, the extracted oil was subjected to an esterification process studying the effect of oil-to-methanol molar ratio,

the catalyst ( $H_3PO_4$ ) concentration, and the reaction time on the conversion of FFA to methyl esters. It was found that a double esterification in series at 60 °C and 100 rpm, at the best conditions, oil-to-methanol molar ratio of 1:15, concentration of 2.5%  $H_3PO_4$  during 120 minutes, reduce the acidity from 30.72 to 1.99%, achieving a FFA conversion of 93.55%. The esterified oil were then subjected to a transesterification process catalyzed by KOH in the presence of methanol at 60 °C at different reaction times. The obtained mixture was decanted and the obtained biodiesel was purified by washing with acidified water. The produced biodiesel was a mixture of the methyl esters of linoleic (48.40%), palmitic (36.21%), stearic (8.69%), and oleic acids (6.69 %), with a total concentration of  $112.924 \pm 7.768$  g/L. The properties of the biodiesel obtained comply with the requirements of ASTM D-6751 and EN 14214 in terms of density and flash point. However, the acidity index and viscosity were higher; limiting the use of biodiesel directly in diesel engines, and could be mixed with commercial diesel to adjust these values.

**Keywords:** Spent coffee grounds, biodiesel, esterification, transesterification,

## Introducción

Los problemas ambientales, en especial las emisiones de gases de invernadero causantes del calentamiento global, han incrementado la necesidad de sustituir los combustibles fósiles por combustibles alternos que sean ecológicos, económicos y provenientes de fuentes renovables, tales como los recursos agrícolas, las plantas y los aceites vegetales. Estos combustibles, además del atractivo de ser renovables, no son tóxicos y no contribuyen con la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Su utilización no está asociada con efectos adversos sobre el medio ambiente porque se equilibran los procesos que generan gases que causan el llamado efecto invernadero [1].

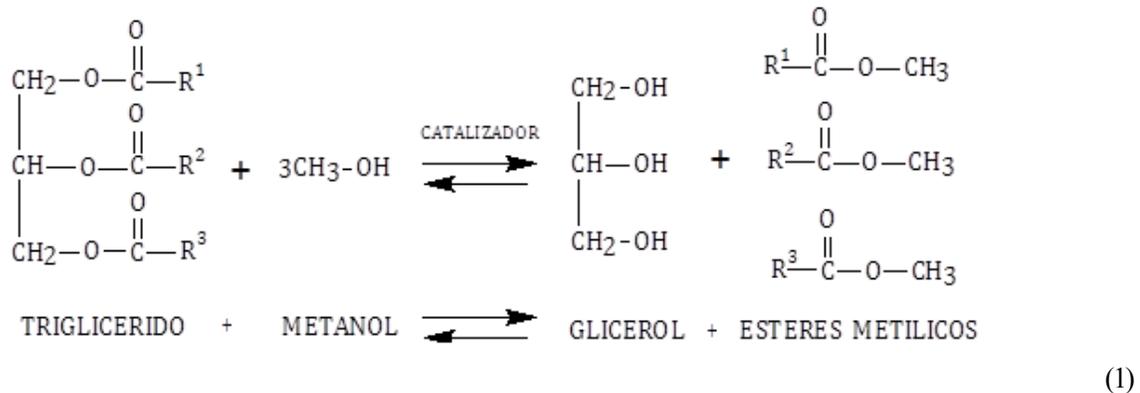
El uso de los aceites vegetales, no es nuevo, pues hace más de cien años el investigador alemán Rudolph Diésel inventó y diseñó el motor diésel de combustión interna que funcionó con aceite de maní como combustible. Sin embargo, al utilizar aceites vegetales como combustible en motores convencionales, no modificados, se presentan problemas de atomización y obstrucción de la boquilla de aspersión del combustible, así como formación de depósitos y oxidación de los inyectores, cámara de combustión y válvulas [2, 3]. Esto se debe a que los aceites vegetales contienen ácidos grasos libres, esteroides, agua y otras impurezas, que ocasionan alta viscosidad y baja volatilidad del aceite, siendo necesaria su modificación química para mejorar sus características carburantes.

El biodiesel es una mezcla de ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga obtenidos mediante la reacción entre un aceite vegetal, o grasas vegetales o animales en presencia de un catalizador [4]. Actualmente, en muchos países, tanto de América como de Europa, se produce biodiesel a partir de los excedentes de aceites comestibles de soja, girasol, y colza [5]. Sin embargo, existe una marcada controversia por el uso de fuentes que pueden estar destinadas a la alimentación de humanos y animales, por lo que la búsqueda de materias primas de bajo costo y fácil adquisición que puedan ser utilizados como sustratos biotransformables constituye uno de los retos más interesantes de la biotecnología actual.

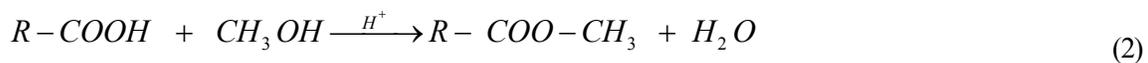
Actualmente, el café es una de las bebidas más consumidas en el mundo, es un hábito diario en muchas personas, bajo diferentes formas, expreso, con leche, capuchino e incluso instantáneo, generando grandes cantidades de sedimento o residuo de café molido, comúnmente llamado borra de café. Se ha estimado que anualmente se generan más de 6 millones de toneladas de borra de café [6, 7], por lo que es necesario buscar alternativas para su manejo y disposición. Previos estudios indican que la borra de café contiene entre 11 y 15% [8, 9, 10], lo cual les confiere un gran potencial para la producción de biodiesel. En este trabajo se estudió la producción de biodiesel en un proceso en dos etapas. En la primera, las grasas extraídas de la borra del café se sometieron a un proceso de esterificación con  $H_3PO_4$  como catalizador en presencia de metanol, estudiando el efecto de las condiciones de operación, sobre la acidez de grasas y la conversión de los ácidos grasos libres en ésteres metílicos. La segunda etapa consistió en la transesterificación alcalina de las grasas esterificadas para obtener el biodiesel.

## Fundamentos teóricos

La producción de biodiesel se inicia con la selección de las materias primas, que depende tanto de la química, como de la economía del proceso, siendo de gran importancia el contenido de ácidos grasos presente [11]. La transesterificación es la reacción química (Ecuación 1) entre los triglicéridos y las cadenas cortas de alcohol, etanol o metanol, en presencia de un catalizador, generando los ésteres metílicos de los ácidos grasos que componen el biodiesel y glicerina como subproducto. Se prefiere el uso de metanol dado su bajo costo y sus propiedades fisicoquímicas [12], disolviendo el catalizador más rápidamente que otros alcoholes.



El catalizador puede ser una base o un ácido, siendo más común el uso de los hidróxidos de sodio (NaOH) o de potasio (KOH) ya que la reacción es más rápida y menos costosa [13]. Sin embargo, la catálisis básica se ve afectada por la presencia de AGL, los cuales están directamente relacionados con el índice de acidez o valor ácido de la grasa o aceite. Contenidos de AGL por encima de 5% provocan la formación de jabón y agua, haciendo difícil la separación del producto del glicerol [14]. La adición de una etapa previa de esterificación ácida, en presencia de metanol (Ecuación 2) permite la conversión de estos ácidos en ésteres metílicos, evitando la saponificación y generación de agua y aumentando el rendimiento del proceso.



## Parte experimental

### Extracción de las grasas de la borra de café

La borra de café se recolectó de varias cafeterías en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela, se secó al sol para eliminar el exceso de humedad y luego se almacenó en envases plástico con tapa hermética hasta el momento de su uso. La extracción se llevó a cabo por ebullición a reflujo, en baño de María a temperatura constante de 80°C durante 3 horas, con hexano como agente extractor, colocando la borra de café en un filtro de tela de algodón que no traspasara a la fase extraída durante el proceso [10].

### Caracterización de las grasas extraídas

Las grasas extraídas de la borra de café se caracterizaron mediante la determinación del contenido de cenizas [15], índice de acidez [16], la viscosidad cinemática y dinámica [17], y la densidad [18], realizando todos los ensayos por triplicado.

### Esterificación de las grasas

Las grasas extraídas se sometieron a un proceso de esterificación para reducir los niveles de ácidos grasos libres. La reacción se llevó a cabo a 60°C y 100 rpm, utilizando H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (Fisher, 85% pureza) como

catalizador en presencia de metanol (Fisher, 98% pureza), variando la relación molar grasa/metanol (RMG:MeOH), la concentración de catalizador y el tiempo de reacción. La conversión de los ácidos grasos libres a ésteres metílicos se calculó mediante la Ecuación 3, donde AGE es la acidez de las grasas esterificadas y AG es la acidez inicial de las grasas extraídas de la borra de café.

$$\text{Conversión (\%)} = \left( 1 - \frac{A_{GE}}{A_G} \right) \times 100 \quad (3)$$

Se seleccionaron las mejores condiciones con base al menor valor de acidez. Luego, la mezcla se dejó en reposo durante 12h a 40 °C, separando las fases formadas por decantación. La fase inferior formada por los esteres metílicos y las grasas sin reaccionar se sometió al proceso de transesterificación, mientras que la fase superior se sometió a un proceso de calentamiento a 65°C en un rotavapor para recuperar el metanol. Todos los ensayos se realizaron por duplicado.

#### **Transesterificación de las grasas esterificadas**

Las grasas esterificadas (grasa neutras y esteres metílicos) se sometieron a un proceso de transesterificación a 60°C con hidróxido de potasio (KOH) como catalizador al 1,5% p/v, en presencia de metanol (RMG:MeOH de 1:15), agitación de 100 rpm y diferentes tiempos de reacción. La mezcla obtenida se dejó en reposo hasta la formación de dos fases, las cuales se separaron por decantación. La fase superior contiene la mezcla de esteres metílicos y el exceso de catalizador (biodiesel crudo), mientras que la fase inferior contiene las impurezas y la glicerina formada como subproducto de la reacción. El biodiesel crudo se lavó con agua destilada acidulada (10% v/v) a 70°C para eliminar las trazas de catalizador [19] hasta alcanzar un pH similar al del agua destilada, indicativo de la eliminación del catalizador [20], se secó en una estufa a 110°C por 4 h y se almacenó en un envase de vidrio color ámbar hasta el momento de su análisis. Todos los ensayos se realizaron por duplicado.

#### **Caracterización del biodiesel**

El biodiesel producido se caracterizó determinado el índice de acidez [16], la viscosidad cinemática [17], la densidad [18] y el punto de inflamación [21]. El perfil de ésteres metílicos se determinó por cromatografía de gases en un equipo Agilent 6890N con sistema de inyección automático y detector de ionización a la llama (FID) y una columna Capilar HP-5 (30 m x 0,320 mm x 0,25 µm). Se utilizó helio como gas de arrastre y una mezcla de 37 ésteres metílicos (SUPELCO) como patrón estándar. La temperatura inicial del horno fue de 150°C aumentando hasta 260°C a una velocidad de 4°C min<sup>-1</sup>. Las temperaturas del inyector y del detector se fijaron en 220 y 250°C, respectivamente. Los espectros de infrarrojo se recolectaron con 10 scans desde 400 a 4000 cm<sup>-1</sup> utilizando un espectrómetro FT-IR (Shimadzu Prestige 21) utilizando ventanas de KCl impregnadas con el líquido, analizando la información mediante el software IR solution, versión 2.0.

#### **Análisis Estadístico**

Se realizaron análisis de varianza y pruebas de media HDS de Tukey, con un nivel de significancia  $\alpha=0,05$ , utilizando el programa SPSS statistics 17.0.

## **Resultados y discusión**

#### **Caracterización de la grasa extraída de la borra de café**

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la caracterización de las grasas extraídas de la borra de café, las cuales son líquidas al momento de la extracción, pero solidas al alcanzar la temperatura ambiente, con un color marrón en ambos estados físicos. Se observa que presentan un bajo contenido de cenizas, parámetro que utiliza para determinar la presencia de impurezas o contaminantes que puedan afectar la pu-

reza del biodiesel obtenido. Además, presentan una elevada acidez,  $30,720 \pm 0,012$  % ( $67,275 \pm 0,025$  mg KOH/g grasa), valor este muy cercano al obtenido por Zabala [22], de 32,0 %, y por Urribarrí et al. [10] de 31,02%, así como dentro del rango reportado en otros estudios de 10-33% [23, 24].

**Tabla 1. Características de las grasas extraídas de la borra de café**

PARAMETRO	CONTENIDO
Cenizas (%)	$0,070 \pm 0,006^*$
Acidez (%)	$30,720 \pm 0,012^*$
Valor ácido (mg KOH/g grasa)	$67,275 \pm 0,025^*$
Punto de fusión (°C)	$29,1 \pm 0,5^*$
Densidad 40 °C (kg/m <sup>3</sup> )	896
Viscosidad dinámica 40 °C (Kg/m.s)	0.028
Viscosidad cinemática (mm <sup>2</sup> /s)	31.20

Nota: \* Valores promedio de los resultados obtenidos de los análisis realizados por triplicado  $\pm 1$  desviación estándar

El elevado porcentaje de acidez indica que las grasas tienen un alto contenido de ácidos grasos libres. Si la acidez es mayor de 5% tendría un efecto negativo en la producción de biodiesel, debido a la pérdida de catalizador durante la reacción de neutralización, causando un aumento en los niveles de triglicéridos en la fase esterificada que resulta un menor contenido de ésteres metílicos (FAME) en el biodiesel y por ende un menor rendimiento en la reacción [25], siendo necesaria una etapa de esterificación previa para reducir los niveles de acidez. Tanto el punto de fusión ( $29,1$  °C) como la densidad ( $896$  kg/m<sup>3</sup>), la viscosidad cinemática ( $31.20$  mm<sup>2</sup>/s) y la viscosidad dinámica ( $0,028$  Kg/m.s) son similares a los valores reportados por Zabala [22] y Urribarrí et al. [10], pero menores a los valores reportados por Al-Hamamre et al. [26] de  $919,2$  Kg/m<sup>3</sup>,  $55,473$  mm<sup>2</sup>/s y  $0,051$  Kg/m.s, respectivamente.

#### **Esterificación de las grasas extraídas**

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos para la acidez de las grasas durante la reacción de esterificación variando la RMG:MeOH (1:10, 1:11, 1:12, 1:13, 1:14, 1:15) y manteniendo fijas la concentración de catalizador (1,5% p/v H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), la temperatura (60°C), la agitación (100 rpm) y el tiempo de reacción (2h). A medida que aumenta la relación molar grasa/metanol, la acidez de las grasas disminuye, encontrándose que a la relación molar 1:15 se obtuvo el menor valor de acidez, 7,45%, la cual representa una conversión de 75,73%. Tomasevic y Marinkovick [27] indicaron que debido a la reversibilidad de la reacción se requiere un exceso de alcohol para que la reacción se desplace hacia la formación de ésteres. Si la cantidad de alcohol no es suficiente, el producto contendrá mono y di-glicéridos como productos intermedios de la transesterificación, los cuales cristalizan muy fácilmente en el biodiesel y pueden causar taponamientos de los filtros y otros problemas en el motor [28].

En la Figura 2 presenta el efecto de la variación de la concentración de catalizador (1.5, 2.0 y 2.5 % v/vgrasas) sobre la acidez de las grasas sometidas a esterificación, manteniendo fijas la temperatura (60°C) y la agitación (100 rpm) durante 2 horas y utilizando la RM G:MeOH de 1:15 seleccionada previamente. A mayor concentración de catalizador, la acidez de las grasas disminuye, alcanzando el menor valor (3,76%) a una concentración de catalizador ácido fosfórico de 2,5% v/vgrasas y una conversión máxima de 87.77%, seleccionando esta para las experiencias posteriores.

En la Figura 3 se presenta la variación del porcentaje de acidez en función del tiempo de reacción durante la esterificación de las grasas extraídas de la borra de café a 60°C con agitación de 100 rpm, utilizando los valores antes seleccionados para la concentración de catalizador (2.5 % v/v grasas) y la RM G:MeOH (1:5). La acidez de las grasas disminuye a medida que aumenta el tiempo de reacción, alcanzando un valor de 3,83% a las 2 horas de reacción, con una conversión del 87,54%. Al aumentar el tiempo de reacción hasta 2,5 y 3 horas la acidez no disminuye, alcanzando un valor de 3,84% con una conversión de 87,50%.

Sin embargo, a pesar de alcanzar una alta conversión de los ácidos grasos libres en esteres metílicos, la acidez de las grasas aún está por encima del rango recomendado para evitar interferencias en la reacción de transesterificación (1-2%).

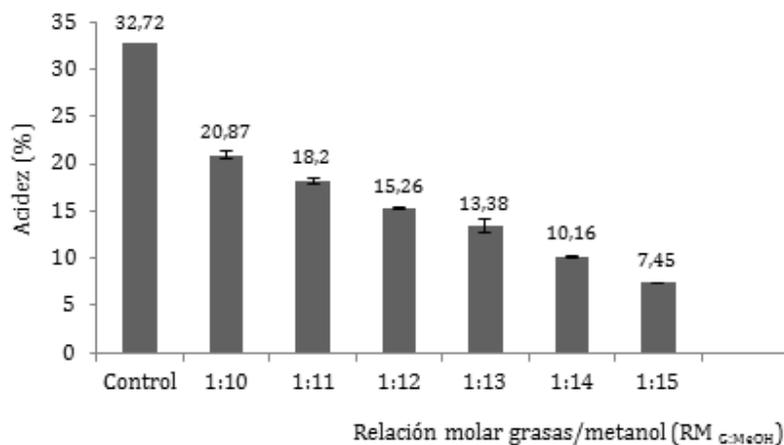


Figura 1. Efecto de la RM G:MeOH sobre la acidez de las grasas extraídas de la borra del café

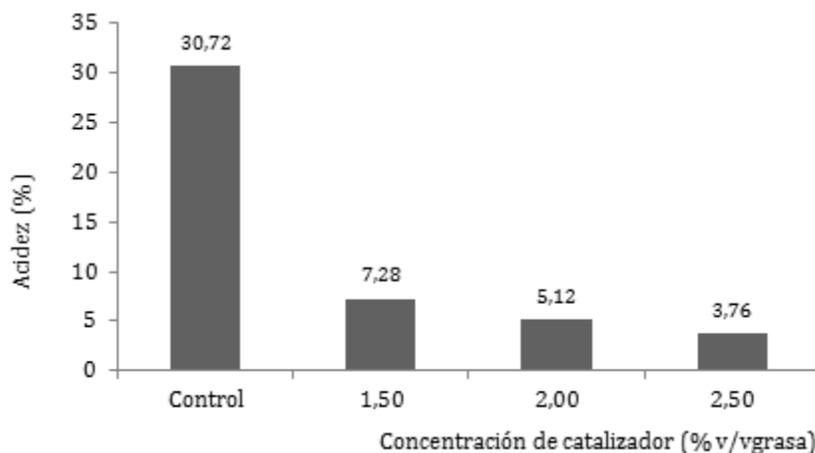


Figura 2. Efecto de la concentración de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sobre la acidez de las grasas extraídas de la borra del café

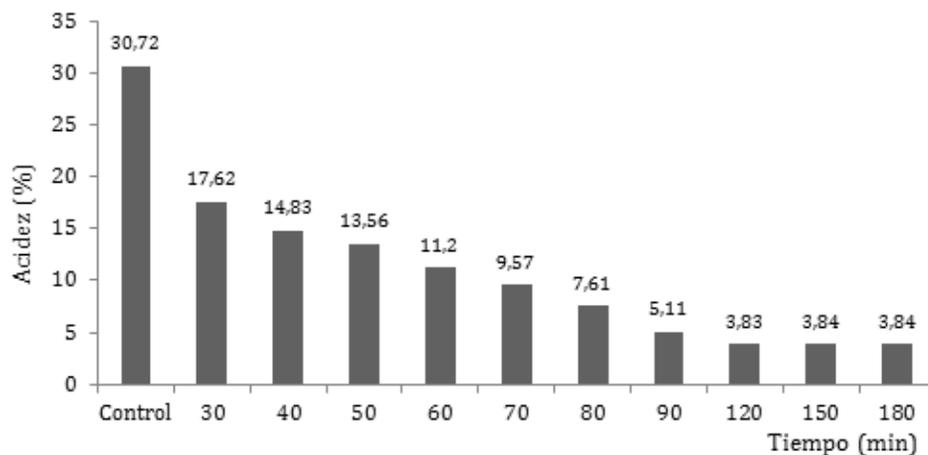


Figura 3. Efecto del tiempo de reacción sobre la acidez de las grasas extraídas de la borra del café

Con el fin de reducir la acidez, las grasas se sometieron a un proceso de esterificación en serie, aplicando un proceso de secado entre cada reacción ya que el agua producida durante reacción entre los ácidos grasos libres y el alcohol, afecta la reacción por lo que debe ser retirada previo a la siguiente fase [23, 29]. En la Tabla 2 se muestra el efecto de la aplicación de esterificaciones sucesivas sobre las de las grasas extraídas de la borra del café, utilizando en todas las reacciones las mejores condiciones seleccionadas previamente, relación molar grasa/metanol de 1:15, concentración de catalizador ( $H_3PO_4$ ) 2,5 % v/vaceite, a 60°C durante 2 horas.

Se observa que al realizar la primera esterificación, la acidez de las grasas disminuye de 30,72% hasta 3,84%, confirmándose los resultados obtenidos en las experiencias anteriores. Luego, producto de la segunda esterificación, el índice de acidez disminuye hasta 1,99%, sin embargo al someterlas de nuevo a la reacción de esterificación, la acidez permanece prácticamente constante, con un valor de 1,98%, no encontrándose diferencias significativas ( $p>0,05$ ). Estos resultados coinciden con lo reportado por Arteaga et al. [30], quienes reportaron la disminución de la acidez al realizar una serie de esterificaciones sucesivas sobre las grasas. Con base a estos resultados, se seleccionó la doble esterificación para disminuir los niveles de acidez de las grasas previo al proceso de transesterificación.

**Tabla 2. Efecto de la esterificación múltiple sobre la acidez de las grasas de la borra de café**

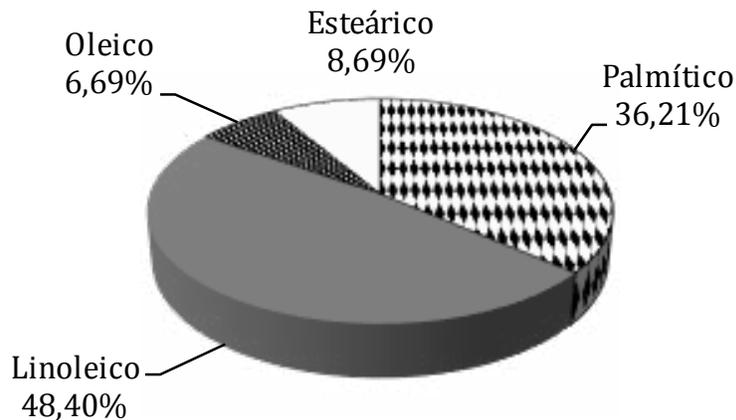
Esterificación	Acidez (%)	Conversión (%)
Sin esterificar	30,720 ± 0,012 <sup>a</sup>	-
Sencillo	3,840 ± 0,005 <sup>b</sup>	87,51 <sup>a</sup>
Doble	1,990 ± 0,003 <sup>c</sup>	93,53 <sup>b</sup>
Triple	1,980 ± 0,003 <sup>c</sup>	93,55 <sup>b</sup>

Nota: Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ( $p>0,05$ )

#### **Transesterificación alcalina de las grasas esterificadas**

Las grasas esterificadas a las condiciones previamente seleccionadas, se sometieron al proceso de transesterificación alcalina a 60°C, utilizando una concentración de catalizador de 2 mg KOH/gaceite, RM G:MeOH de 1:15, con agitación de 100 rpm durante una hora. El producto obtenido es una mezcla de biodiesel crudo, agua, glicerol, metanol y catalizador sin reaccionar, distribuidos en dos fases. La mezcla se separó por decantación y el biodiesel crudo se purificó para eliminar las impurezas.

Las muestras de biodiesel se analizaron por cromatografía de gases, identificados por comparación con el cromatograma obtenido para el patrón estándar, encontrando que es una mezcla de ésteres metílicos de los ácidos palmítico, linoleico, oleico y esteárico, cuya composición porcentual se muestra en la Figura 4. La concentración total de ésteres metílicos se calculó como la sumatoria de las concentraciones individuales de los ésteres metílicos de los ácidos grasos, encontrando en promedio un valor de 112,924 ± 7,768 g/L.



**Figura 4. Composición de ésteres metílicos en el biodiesel producido por esterificación y transesterificación de las grasas extraídas de la borra de café**

En la Figura 5 se observan los espectros de infrarrojo (FTIR) para las grasas extraídas de la borra de café y el biodiesel producido obtenidos con el fin de identificar los grupos funcionales y verificar la conversión de las grasas en biodiesel. En la zona denominada “huella dactilar” se observa un pico a 721  $\text{cm}^{-1}$  indicando la presencia de más de cuatro grupos  $-\text{CH}_2$ , característico de los espectros de compuestos que contienen ácidos grasos superiores de cadena larga, reflejada también en el biodiesel que contiene los ésteres metílicos correspondientes [31, 32]. En el espectro de las grasas se observan los picos en 1705 y 1724  $\text{cm}^{-1}$ , los cuales corresponden al estiramiento del grupo  $\text{C}=\text{O}$  en ácidos carboxílicos, generados debido a la presencia de ácidos grasos libres y de triglicéridos. Los picos entre 1465 y 1400  $\text{cm}^{-1}$  se atribuyen a flexiones  $\text{C}-\text{H}$  y  $\text{CH}_2$  del grupo metileno, mientras que las señales entre 1300 y 930  $\text{cm}^{-1}$  se atribuyen a vibraciones asimétricas acopladas,  $\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}$  y  $\text{O}-\text{C}-\text{C}$  del grupo éster presente en la molécula de los triglicéridos.

1741  $\text{cm}^{-1}$  corresponde al grupo carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ) que identifica a los ésteres [31, 33, 34]. Este pico de absorción está conectado a la vibración de estiramiento de los grupos éster, y es conocido por su posición relativamente constante y libre de bandas de interferencia et [35]. Los picos a 1456 y 1435  $\text{cm}^{-1}$  corresponden al estiramiento asimétrico del enlace  $-\text{C}-\text{H}$  y flexiones asimétricas del grupo funcional. Además, en el espectro del biodiesel, se observan fuertes señales de absorción a 1244 y 1195  $\text{cm}^{-1}$ , correspondientes a la deformación axial de  $\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}$  atribuidas a enlaces éster, mientras que la señal a 1168  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a la deformación asimétrica de enlaces  $\text{O}-\text{C}-\text{C}$ . Estas tres bandas son características de los ésteres metílicos de cadena larga [35].

En el espectro del biodiesel, se observa que el pico a 1705  $\text{cm}^{-1}$  presente en las grasas, se desplaza hasta 1741  $\text{cm}^{-1}$  y que el pico a 1724  $\text{cm}^{-1}$  (ácidos carboxílicos) desaparece. Esta banda intensa centrada en

En los dos espectros, se pueden apreciar las bandas que indican la presencia de los enlaces simétricos y asimétricos  $\text{C}-\text{H}$  entre 2800 y 3000  $\text{cm}^{-1}$ . El pico a 2916  $\text{cm}^{-1}$  en las grasas y a 2922  $\text{cm}^{-1}$  en el biodiesel, corresponden al estiramiento asimétrico de los grupos metilo, diferenciándose en su intensidad. Las cadenas alifáticas tienen sus bandas características entre 2800 y 3000  $\text{cm}^{-1}$  y por debajo de 1000  $\text{cm}^{-1}$  aparecen sus flexiones (Martínez y col., 2007). El pico a 3007  $\text{cm}^{-1}$  se atribuye al estiramiento  $-\text{HC}=\text{CH}-$  del éster metílico y es una oscilación característica de los compuestos insaturados [32, 36]. La banda entre 3150 y 3600  $\text{cm}^{-1}$  corresponde al estiramiento del grupo  $\text{O}-\text{H}$ . En el espectro de las grasas se deben a la presencia de ácidos grasos libres (ácidos carboxílicos) y de mono y di-glicéridos en la muestra. Esta banda disminuye en el espectro del biodiesel, sin embargo no desaparece completamente, indicando bajo contenido de residuos de metanol o humedad [38].

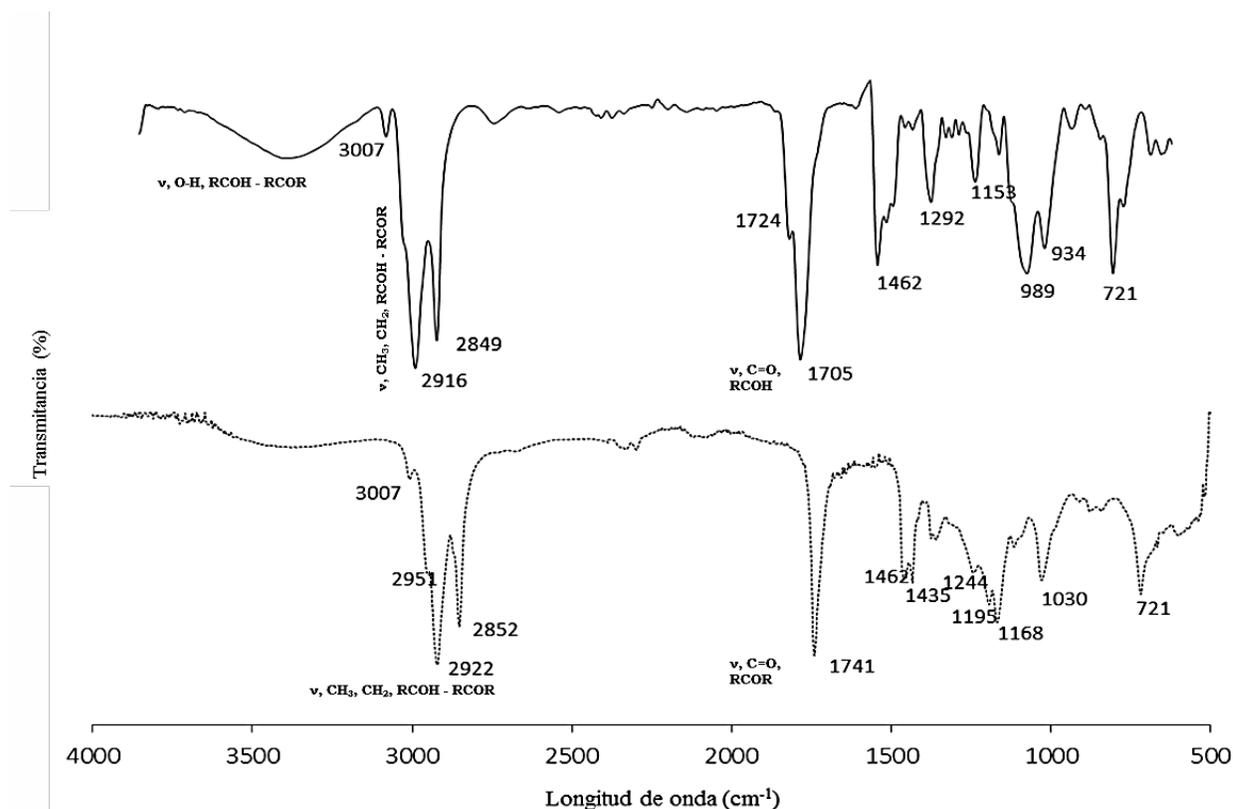


Figura 5. Espectro FTIR de las grasas extraídas de la borra de café y del biodiesel producido

### Características del biodiesel

La calidad del biodiesel está relacionada con los valores de sus propiedades fisicoquímicas en comparación con las especificaciones y estándares establecidos internacionalmente. En la Tabla 3 se presentan las propiedades fisicoquímicas del biodiesel producido a partir de las grasas extraídas de la borra de café. Se observa que la densidad del biodiesel obtenido (900 Kg/m<sup>3</sup>) se encuentra en el límite máximo del rango establecido por la Norma Europea EN 14214 [38] de 860-900 Kg/m<sup>3</sup>. La Norma ASTM D6751 [39] no establece valores para esta propiedad. Este valor es superior al reportado por Zabala [22] de 870 Kg/m<sup>3</sup> en biodiesel de grasas de borra de café obtenido por transesterificación con HCl como catalizador, así como por Mustafá et al. [40] de 890 Kg/m<sup>3</sup> en biodiesel de aceites vegetales usados y de aceite de *Jatropha*, respectivamente. Este parámetro es importante ya que afecta el rendimiento del motor, debido a que las bombas de inyección de combustible miden el combustible en volumen y no en masa, dependiendo de su densidad se inyecta una mayor o menor cantidad de combustible [41]. Por lo tanto, la relación aire-combustible y el contenido de energía dentro de la cámara de combustión están influenciados por la densidad del combustible. El punto de inflamación del biodiesel obtenido de 177 °C cumple lo requerido por las Normas ASTM D-6751 y EN 14214, que establecen valores mínimos de 130 y 120 °C, respectivamente. Este parámetro está relacionado la pureza del biodiesel producido y es indicativo de la eficiencia en la remoción del metanol.

El índice de acidez ( $4,28 \pm 0,04$  mg KOH/g biodiesel) es superior al valor mínimo establecido tanto por las Normas ASTM (0,8 mg KOH/g) como por la Norma EN 14124 (0,5 mg KOH/g). Este elevado valor es causado por la presencia de ácidos grasos libres que no fueron convertidos en ésteres durante la etapa de esterificación a las condiciones ensayadas (relación molar grasa/metanol de 1:15, concentración de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

de 2,5 % p/v, 60 °C y 100 rpm durante 120 minutos). En esta etapa, a pesar de realizar tres esterificaciones en serie, no se consiguió disminuir la acidez por debajo de 1.98%. Una elevada concentración de ácidos grasos libres puede afectar la lubricidad del biodiesel [42] y tener influencia sobre el envejecimiento del combustible [43].

La viscosidad cinemática a 40°C fue de 11.11 mm<sup>2</sup>/s, superior a los límites establecidos en las Normas ASTM D-6751 y EN 14214 de 1.9 - 6 y 3.5 – 5 mm<sup>2</sup>/s para el biodiesel puro, respectivamente. Este valor es similar al reportado por Valente et al [44] para biodiesel de aceite de ricino de 11.5 mm<sup>2</sup>/s, pero es mayor al reportado por Kondamundi et al [8] de 5,84 mm<sup>2</sup>/s para biodiesel de grasas de borra de café y por Oliveira et al [45] de 4,90 mm<sup>2</sup>/s para biodiesel de grasas de granos de café defectuosos. La viscosidad cinemática del biodiesel es mucho menor que la de las grasas de la borra de café (31,25 mm<sup>2</sup>/s), por lo que podría ser usado en motores diésel, asegurando que puede ser atomizado en las cámaras de combustión. La viscosidad cinemática afecta la lubricación del sistema de inyección y la atomización del combustible. Viscosidades muy elevadas reducen la cantidad de combustible vaporizado antes de la combustión [44], causando una pobre atomización debido a la formación de gotas de gran tamaño [41].

**Tabla 3. Propiedades del biodiesel obtenido a partir de las grasas extraídas de la borra de café**

PROPIEDAD	BIODIESEL			Petrodiesel ASTM D975
	Borra de Café	ASTM D6751	EN 14214	
Densidad a 25°C (kg/m <sup>3</sup> )	900	860-900	860-900	850
Flash Point (°C)	177	>130	>120	68
Acidez (%)	1,95 ± 0,02	-	-	-
Índice Acido (mg KOH/g biodiesel)	4,28 ± 0,04	<0,8	<0,5	0,35
Viscosidad Dinámica a 40°C (Kg/m. s)	0,0100	0,0016-0,0035	-	0,0013-0,0041
Viscosidad Cinemática a 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	11,11 ± 0.07	1,9-6,5	3,5-5,0	2,6

El biodiesel se puede mezclar y utilizar en muchas diferentes concentraciones, por ejemplo B100 (biodiesel puro), B20 (20% biodiesel, 80% diésel de petróleo), B5 (5% biodiesel, 95% diésel de petróleo), entre otras. La preparación de este tipo de mezclas sería una forma de compensar los elevados valores de viscosidad e índice de acidez y ajustar el biodiesel obtenido a los estándares internacionales, para lo cual se recomiendan estudios más detallados.

## Conclusiones

Se produjo biodiesel a partir de las grasas extraídas de la borra de café mediante un proceso en dos etapas. En la primera una doble esterificación en serie permitió reducir la acidez desde 30,72 hasta 1,99%, alcanzando una conversión de los ácidos grasos libres presentes en esteres metílicos del 93,55%. En la segunda etapa, transesterificación alcalina de los aceites esterificados, el biodiesel obtenido consistió de una mezcla de los esteres metílicos de los ácidos linoleico (48,40%), palmítico (36,21%), esteárico (8,69%) y oleico (6,69%), con una concentración total de esteres metílicos de 112,924 ± 7,768 g/L. Los espectros FTIR confirmaron la conversión de los ácidos grasos a esteres metílicos. Las propiedades del biodiesel obtenido se ajustan a lo requerido por las Normas ASTM D-6751 y EN 14214 en cuanto a densidad y punto de inflamación. Sin embargo, el índice de acidez y la viscosidad son mayores a los requeridos por las normas, limitando el uso del biodiesel producido directamente en motores diésel, pudiendo mezclarse con diésel comercial de petróleo para ajustar estos valores.

## Referencias bibliográficas

1. Sinha, S., Agarwal, A. K., y Garg, S., Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization. *Energy conversion and management*, Vol. 49, N°5, (2008), 1248-1257.
2. Diya'uddeen, B. H., Aziz, A. A., Daud, W. M. A. W., & Chakrabarti, M. H. Performance evaluation of biodiesel from used domestic waste oils: a review. *Process Safety and Environmental Protection*, 90(3), (2012), 164-179.
3. Ortiz Laurel, H., Kipling, D. R., & Schumann, U. (2012). Potencial para el uso directo de los aceites vegetales en los motores de combustión. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, (4), 650-658.
4. Rojas G., Girón T., Torres A., Variables de operación en el proceso de transesterificación de aceites vegetales: una revisión-catálisis química. *Revista Ingeniería e Investigación*, 29:17-22.
5. Keera, S. T., El Sabagh, S. M., & Taman, A. R. (2011). Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst. *Fuel*, 90(1), 42-47.
6. Tokimoto, T., Kawasaki, N., Nakamura, T., Akutagawa, J., & Tanada, S. (2005). Removal of lead ions in drinking water by coffee grounds as vegetable biomass. *Journal of Colloid and interface Science*, 281(1), 56-61.
7. Zuorro, A., y Lavecchia, R. (2012). Spent coffee grounds as a valuable source of phenolic compounds and bioenergy. *Journal of Cleaner Production*, 34, 49-56.
8. Kondamudi, N., Mohapatra, S. K., & Misra, M. (2008). Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(24), 11757-11760.
9. Cruz, R., Cardoso, M. M., Fernandes, L., Oliveira, M., Mendes, E., Baptista, P. y Casal, S. (2012). Espresso coffee residues: a valuable source of unextracted compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(32), 7777-7784.
10. Urribarrí, A., Zabala, A., Sánchez, J., Arenas, E., Chandler, C., Rincón, M., y Aiello Mazzarri, C. (2015). Evaluación del potencial de la borra de café como materia prima para la producción de biodiesel. *Multiciencias*, 14(2):129-139
11. Karmakar, A., Karmakar, S., & Mukherjee, S. (2010). Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. *Bioresource technology*, 101(19), 7201-7210.
12. Demirbas, A. (2009). Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification. *Energy Conversion and Management*, 50(4), 923-927.
13. Schuchardt, U., Sercheli, R., & Vargas, R. M. (1998). Transesterification of vegetable oils: a review. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 9(3), 199-210.
14. Meher, L.C., Vidya Sagar, V., Naik, S.N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 10: 248-268.
15. ASTM D482-13, Standard Test Method for Ash from Petroleum Products, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2013), [www.astm.org](http://www.astm.org)
16. ASTM D664-11a1, Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, [www.astm.org](http://www.astm.org)
17. ASTM D445. Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and the Calculation of Dynamic Viscosity) ASTM International, West Conshohocken, PA, (2015), [www.astm.org](http://www.astm.org)

18. ASTM D1298-12b, Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2012), [www.astm.org](http://www.astm.org)
19. Patil, P. D., & Deng, S. Optimization of biodiesel production from edible and non-edible vegetable oils. *Fuel*, 88(7), (2009), 1302-1306.
20. Singh, S. P., & Singh, D. (2010). Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 200-216.
21. ASTM D93-16a, Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2016), [www.astm.org](http://www.astm.org)
22. Zabala, Albert. Producción de biodiesel de residuos de café utilizando diferentes catalizadores. Trabajo de grado. Programa de Maestría en Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Venezuela. (2012) 71p.
23. Canakci, M., & Van Gerpen, J. (2001). Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1429.
24. Oliveira, L. S., Franca, A. S., Mendonça, J. C., & Barros-Júnior, M. C. (2006). Proximate composition and fatty acids profile of green and roasted defective coffee beans. *LWT-Food Science and Technology*, 39(3), 235-239.
25. Bautista L. F., Vicente G., Rodríguez R., and Pacheco M. (2009) Optimization of FAME production from waste cooking oil. *Biomass and Bioenergy*, 33: 862 – 872.
26. Al-Hamamre, Z., Foerster, S., Hartmann, F., Kröger, M., & Kaltschmitt, M. (2012). Oil extracted from spent coffee grounds as a renewable source for fatty acid methyl ester manufacturing. *Fuel*, 96, 70-76.
27. Tomasevic V., Marinkovic, S., (2002) “Methanolysis of used frying oil”. *Fuel Process Technol.*, 81:1–6.
28. Wang Y., Ou S., Liu T., Zhang Z., (2007) “Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two step catalyzed process”. *Energy and Management*, 48: 184-188.
29. Vilas, Sh.G., Raheman, H. (2005). Biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil having high free fatty acids. *Biomass and Bioenergy*. 28: 601 – 605.
30. Arteaga, H. Siche, R., Pagador, S., Cáceres, H., (2010). Efecto de la temperatura y tiempo de transesterificación en el rendimiento y poder calórico de biodiesel a partir de grasa refinada de pollo. *Revista Scientia Agropecuaria*, 1, 37-45.
31. Martínez Ávila, O. M., Sánchez Castellanos, F. J., & Suárez Palacios, O. Y. (2007). Producción de ésteres etílicos a partir de aceite de palma RBD. *Ingeniería e Investigación*; Vol. 27, N°2 (2007); 34-43
32. Yordanov, D. I., Tsonev, Z. B., Palichev, T. V., & Mustafa, Z. A., A new approach for production of coffee oil from waste coffee residue as a feedstock for biodiesel. *Petroleum & Coal*, Vol. 55, N° 2, (2013), 74-81.
33. Lafont, J. J., Páez, M. S., & Torres, Y. C., Análisis químico de mezclas biodiesel de aceite de cocina usado y diesel por espectroscopia infrarroja. *Información tecnológica*, Vol. 22, N°4, (2011), 35-42.
34. Ortiz Tapia, M. del C., García Alamilla, P., Lagunes Gálvez, L. M., Arregoitia Quezada, M. I., García Alamilla, R., & León Chávez, M. A., Obtención de biodiesel a partir de aceite crudo de palma (*Elaeis guineensis* Jacq.). Aplicación del método de ruta ascendente. *Acta Universitaria*, Vol. 26, N°5, (2016), 3-10.

35. Silverstein, R. M., Webster, F. X., Kiemle, D. J., & Bryce, D. L., Spectrometric identification of organic compounds. John Wiley & Sons. (2014).
36. Meena Devi, R., Subadevi, R., Paul Raj, S., & Sivakumar, M., Comparative Studies on Biodiesel from Rubber Seed Oil Using Homogeneous and Heterogeneous Catalysts. *International Journal of Green Energy*, 12(12), (2015), 1215-1221.
37. Anguebes, F.; Rangel, M.; Castelan, M.; Guerrero, A.; Cervantes, J. M.; Aguilar, M. & Herrera, W. A., Evaluación de la transesterificación del aceite de canola. *Biocombustibles*, 498, (2011), 238-242.
38. EN 14214 Automotive fuels—Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines—Requirements and test methods. Standard, Biodiesel. European Standard Organization (2003).
39. ASTM D6751-15ce1, (2015) Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels, ASTM International, West Conshohocken, PA, [www.astm.org](http://www.astm.org)
40. Mustafa, T., Soomro, S. A., Najam, M. N., Amin, M., & Ahmad, I. (2016). Production of Biodiesel through Catalytic Transesterification of Jatropha Oil. *Journal of Applied and Emerging Sciences*, 6(1), pp9-13.
41. Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., & Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 143-169.
42. Sharma, Y. C., Singh, B., & Korstad, J. (2010). Application of an efficient nonconventional heterogeneous catalyst for biodiesel synthesis from *Pongamia pinnata* oil. *Energy & Fuels*, 24(5), 3223-3231.
43. Felizardo, P., Correia, M. J. N., Raposo, I., Mendes, J. F., Berkemeier, R., & Bordado, J. M. (2006). Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste management*, 26(5), 487-494.
44. Valente, O. S., Pasa, V. M. D., Belchior, C. R. P., & Sodr e, J. R. (2011). Physical–chemical properties of waste cooking oil biodiesel and castor oil biodiesel blends. *Fuel*, 90(4), 1700-1702.
45. Oliveira, L. S., Franca, A. S., Camargos, R. R., & Ferraz, V. P. (2008). Coffee oil as a potential feedstock for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 99(8), 3244-3250.



# Evaluación del comportamiento bidimensional de un reactor de lecho fijo para la síntesis de dimetileter

Héctor Suárez<sup>1\*</sup> y César García<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Posgrado de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela

Autor de correspondencia: [hector.suarez@gmail.com](mailto:hector.suarez@gmail.com)

Recibido: 04-04-2017

Aceptado: 19-09-2017

## Resumen

El reactor para el proceso KOGAS de producción de DME ha sido simulado mediante el modelo heterogéneo en investigaciones recientes. Se plantea su simulación mediante los modelos de flujo pistón, empleando Aspen Plus<sup>TM</sup> V8.8, y el modelo pseudo-homogéneo, empleando colocación ortogonal. Este último sugiere la presencia de un punto caliente hacia la posición axial 0,7 y el centro del reactor, donde la temperatura superaría los 355 °C. Se obtuvo un acercamiento a los valores experimentales de  $\pm 6,5^{\circ}\text{C}$  para la posición radial 0,533 en todo el rango axial. El modelo de flujo pistón no provee una solución aceptable. Para los perfiles de concentración, ambos modelos presentan soluciones similares en el punto de salida del reactor, donde el modelo de flujo pistón presentó valores más cercanos a los experimentales. Las concentraciones de los productos encontradas son considerablemente superiores a los valores experimentales. Estas discrepancias se atribuyen a que los modelos empleados no consideran las limitaciones a la transferencia de calor y masa entre la fase fluida y el lecho catalítico. Se observó una influencia importante de la dispersión radial en el perfil de temperatura, no así en el de concentración. La dispersión axial demostró tener un efecto despreciable en ambos perfiles.

**Palabras clave:** DME, colocación ortogonal, modelo de flujo pistón, modelo pseudo-homogéneo.

## Two-dimensional behaviour of a fixed bed reactor for dimethyl ether production

### Abstract

KOGAS has develop a one-step process for DME production which has been simulated using a heterogeneous model. In this work the reactor is simulated using a plug flow model, by means of Aspen Plus<sup>TM</sup> V8.8, and pseudo-homogeneous model, by means of orthogonal collocation. Pseudo-homogeneous model suggests the existence of a hot-spot around axial position 0,7 and reactor centre on radial direction. Temperature on this point would be above 355 °C. A deviation of  $\pm 6,5^{\circ}\text{C}$  was obtained at dimensionless radial position 0,5333 for all axial range. Plug flow model does not provide an acceptable approximation. Both models provide similar solutions for concentration profiles, nevertheless, plug flow model showed better agreement with experimental data. Simulated concentrations show higher values compared with experimental results. Such values are due to the fact that considered models does not take into account heat and mass transfer limitations between bulk fluid phase and catalyst particles. Radial dispersion has an important influence in temperature profiles, contrary to concentration profiles where is almost negligible. Axial dispersion had a negligible effect in both temperature and concentration profiles.

**Key words:** DME, orthogonal collocation, plug flow model, pseudo-homogeneous model.

## Introducción

El Dimetil Éter (DME) es el más simple de los éteres, su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ . Sus propiedades físicas son similares a las del LPG. Puede ser producido a partir de una gran variedad de materias primas como: gas natural, petróleo crudo, carbón y biomasa [1,2,3,5].

El DME promete ser un excelente y eficiente combustible alternativo para uso en motores a diésel, con combustión prácticamente libre de humo, por lo que las investigaciones relacionadas a su producción y aplicaciones se encuentran en auge [1,2,3,4,5].

En la actualidad, la empresa KOGAS desarrolla un proceso para la producción de DME en una etapa, el cual ha sido probado en diferentes escalas de planta piloto [2]. El presente trabajo, se basa en la simulación del reactor para la síntesis de DME de una de esas plantas piloto con capacidad para 100 kg/día inaugurada en 2003.

Los autores Song et al. [5], abordaron la simulación del reactor de la planta piloto mediante el modelo heterogéneo, el cual presenta un muy buen grado de confiabilidad de acuerdo a los datos experimentales reportados para dicho sistema. Sin embargo, dicho modelo no toma en cuenta la dispersión radial, por lo que su capacidad para predecir la formación de puntos calientes está limitada, siendo este un factor altamente importante dado lo exotérmico de las reacciones llevadas a cabo.

En este trabajo se plantea la simulación de dicho reactor mediante el modelo de flujo pistón, siendo este el más sencillo disponible, empleando el simulador comercial Aspen Plus<sup>TM</sup> V8.8, y el modelo pseudo-homogéneo bidireccional, aplicando los métodos de colocación ortogonal y Runge – Kutta de 4<sup>o</sup> orden.

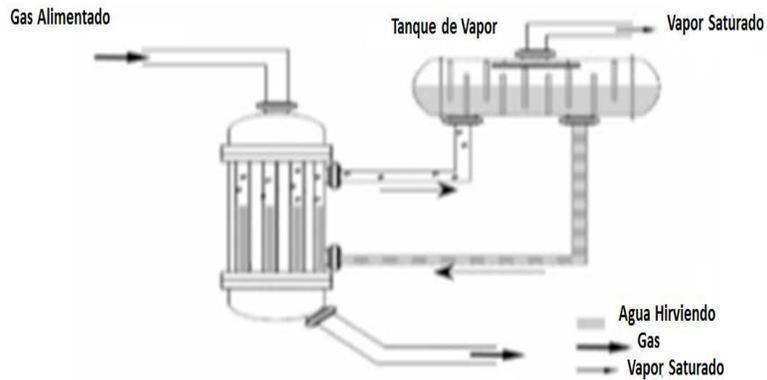
El método de colocación ortogonal es empleado para aproximar los términos de la dispersión radial en la forma de ecuaciones algebraicas. Una vez el método de colocación es aplicado, el sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales (modelo pseudo-homogéneo) se convierte en uno de ecuaciones diferenciales ordinarias, que es resuelto por un método de integración numérica, en este caso Runge – Kutta de 4<sup>o</sup> orden.

Se validó la aplicabilidad de los modelos de flujo pistón y pseudo-homogéneo, de fácil y moderada complejidad, con respecto a los datos experimentales disponibles y la simulación realizada empleando el modelo heterogéneo por Song et al. [5], mucho más complicado desde el punto de vista matemático y del esfuerzo de programación.

## Metodología

### Sobre el reactor para la síntesis de DME

El DME es producido a partir de gas de síntesis, el cual posee la composición mostrada en la Tabla 1. El reactor de síntesis de DME de KOGAS, consiste en un sistema de tubos y carcasa; en los tubos se encuentra el lecho empacado con un catalizador bifuncional propiedad de KOGAS ( $\text{CuO}/\text{ZnO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) y por la carcasa fluye agua en su punto de ebullición como refrigerante. El esquema de flujo de este reactor es mostrado en la Figura 1 y en la Tabla 2 se muestran las características generales del reactor.



**Figura 1. Diagrama de flujo del reactor de DME**

Fuente: Song y col. [5]

**Tabla 1. Condiciones base del reactor planta piloto**

Componente / Condición	Composición
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	58,9
Monóxido de carbono (CO)	39,1
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0,2
Agua (H <sub>2</sub> O)	1,57
Metanol (CH <sub>3</sub> OH)	0
Dimetil éter (CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub> )	0
Metano (CH <sub>4</sub> )	0,25
Presión (kPa)	5000
Temperatura de entrada (°C)	220
Flujo (GHSV)	2000 h <sup>-1</sup>
Temperatura del agua de enfriamiento (°C)	215

Fuente: Song y col. [5]

**Tabla 2. Características del reactor planta piloto y el catalizador**

Componente	Propiedad	Valor
Catalizador	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1783,5
	Porosidad	45,53
	Masa (kg)	7,85
	Diámetro de partícula (m)	0,006
Reactor	Diámetro de tubo (m)	0,03
	Longitud (m)	1,6
	Número de Tubos	7

Fuente: Song y col. [5]

### Reacciones Químicas

Para la síntesis del DME se considera la ocurrencia de tres reacciones químicas en simultáneo, a saber, síntesis de metanol (MS) y desplazamiento con vapor inversa (RGWS) (ambas reacciones son consideradas en conjunto como la síntesis de metanol) y la deshidratación de metanol o síntesis de DME (MD). Las mismas ocurren de la siguiente manera:



Las dos primeras responden las ecuaciones cinéticas propuestas por Vanden Bussche y Froment [6], mientras que la MD concuerda con la desarrollada Bercic y Levec [7] (Ver Tabla 3). En la Tabla 4 se presentan los parámetros cinéticos correspondientes de acuerdo con las modificaciones realizadas por Song y col. [5] y convertidas al SI.

**Tabla 3. Ecuaciones cinéticas**

Reacción	*F. C.	Fuerza impulsora	Expresión de adsorción
Síntesis de Metanol (MS)	$K_1$	$p_{H_2} p_{CO_2} / 1^{10} - \frac{1}{K_{eqm_1}} \left( \frac{p_{CH_3OH} p_{H_2O}}{p_{H_2}^2} \right)$	$\left( 1 + K_2 \left( \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2}} \right) + K_3 \sqrt{p_{H_2}} + K_4 p_{H_2O} \right)^3$
Desplazamiento con Vapor (RWGS)	$K_5$	$p_{CO_2} / 100.000 - \frac{K_{eqm_2}}{100.000} \left( \frac{p_{CO} p_{H_2O}}{p_{H_2}} \right)$	$\left( 1 + K_2 \left( \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2}} \right) + K_3 \sqrt{p_{H_2}} + K_4 p_{H_2O} \right)$
Deshidratación de Metanol (MD)	$K_6$	$K_{CH_3OH}^2 C_{CH_3OH}^2 - \frac{K_{CH_3OH}^2}{K_{eqm_3}} (C_{H_2O} C_{DME})$	$\left( 1 + 2 \sqrt{K_{CH_3OH} C_{CH_3OH}} + K_{H_2O} C_{H_2O} \right)^4$

\* Factor Cinético

**Tabla 4. Constantes cinéticas, de adsorción y equilibrio**

Constante	A	B <sup>(1)</sup>	Unidades	Constante	A	B <sup>(1)</sup>	Unidades
$k_1$	0,00165	-36.696	$\frac{kmol}{kg \ s \ Pa^2}$	$K_6$	1,03E+07	105.000	$\frac{kmol}{kg \ s}$
$K_2$	3.610	0	-	$K_{H_2O}$	0,084	41.100	m <sup>3</sup> /kmol
$K_3$	0,00117	17.197	Pa <sup>-1/2</sup>	$K_{eqm1}$	-10,592	3.066	-
$K_4$	7,14E-16	124.119	1/Pa	$1/K_{eqm2}$	2,029	2.073	-
$k_5$	1,09E+09	94.765	$\frac{kmol}{kg \ s \ Pa}$	$K_{eqm3}$	-13,92	10.194	-
$K_{CH_3OH}$	0,00079	70.500	m <sup>3</sup> /kmol	-	-	-	-

Nota: Las constantes de cinéticas y de adsorción se representan de la forma  $k_i = A_i e^{B_i/(RT)}$ . Las constantes de equilibrio son de la forma  $\log(K_{(eqm_i)}) = A + B/T$ , donde a = 1 o -1.

(1): constantes cinéticas y de adsorción expresadas en kJ/kmol, para las constantes de equilibrio en K.

### Modelo de Flujo Pistón

Para la simulación del reactor de síntesis de DME se realizaron las siguientes consideraciones: a) estado estacionario, b) velocidad de flujo constante a lo largo del reactor c) las propiedades físicas y químicas de la mezcla de componentes varían con la temperatura y la composición, las mismas son determinadas mediante la ecuación de estado de Peng Robinson, d) la caída de presión a través del reactor es descrita por la Ecuación de Ergun y, e) se considera una temperatura constante de 215°C [5] para el medio de enfriamiento.

El uso del modelo de flujo pistón en Aspen Plus™ V8.8 reduce la simulación a tres pasos: a) conversión de las ecuaciones cinéticas al modelo LHHW, b) cálculo del coeficiente global de transferencia de calor y, c) introducción de las dimensiones del reactor y el catalizador. A continuación, se detallan cada uno de estos pasos.

### Cinética LHHW

El simulador Aspen Plus™ permite el uso de ecuaciones cinéticas del tipo Langmuir-Hinshelwood-Hougen-Watson generalizadas según las ecuaciones mostradas en la Tabla 5 [8]:

**Tabla 5. Expresión de velocidad de reacción del tipo LHHW en Aspen Plus™**

<b>Velocidad de reacción</b>	$r = \frac{(factor\ cinético) \times (fuerza\ impulsora)}{(adsorción)}$	(Ec. 4)
<b>Factor cinético</b>	$kT^n e^{\frac{-E}{RT}}$	(Ec. 5)
<b>Fuerza impulsora</b>	$K_1 \prod C_i^v - K_2 \prod C_j^v$	(Ec. 6)
<b>Expresión de adsorción</b>	$\left( \sum K_i \prod C_j^v \right)^m$	(Ec. 7)
<b>Constantes de adsorción/equilibrio</b>	$\ln(K_i) = A_i + \frac{B_i}{T} + C_i \ln(T) + D_i T$	(Ec. 8)

La concentración de los componentes puede ser expresada, según la elección del usuario, en cualquier de las siguientes bases: molaridad (kmol/m<sup>3</sup>), molalidad (gmol/kg H<sub>2</sub>O), fracción molar, fracción másica, presión parcial (N/m<sup>2</sup> o Pa), concentración másica (kg/m<sup>3</sup>) [8].

### Coefficiente global de transferencia de calor

El cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se realizó de acuerdo con el procedimiento desarrollado por Kunii y Levenspiel [9] de la siguiente manera:

$$U_0 = \frac{1}{\frac{1}{h_i} \left( \frac{D_o}{D_i} \right) + \frac{x_w}{k_m} \left( \frac{D_o}{D_L} \right) + \frac{1}{h_o} + \frac{D_o}{D_{ti}} \frac{1}{h_{di}} + \frac{1}{h_{do}}} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde,

U<sub>0</sub>: coeficiente global de transferencia de calor.

h<sub>i</sub>, h<sub>o</sub>: coeficientes convectivos de transferencia de calor del interior y exterior de los tubos, “i” y “o”, respectivamente.

$D_{ti}$ ,  $D_o$ : diámetro interno y externo de los tubos.

$x_w$ : espesor de la pared de los tubos.

$k_m$ : conductividad térmica de la pared.

$D_L$ : diámetro equivalente de los tubos.

$h_{di}$ ,  $h_{do}$ : coeficiente de ensuciamiento del interior y exterior de los tubos, “di” para el interior y “do” para el exterior.

Para el presente estudio, se despreció el efecto de la resistencia a la transferencia de calor por efectos del ensuciamiento interior y exterior de los tubos.

### Dimensiones del reactor y propiedades el catalizador

Por último, la simulación del reactor empleando Aspen Plus<sup>TM</sup> requiere que sean introducidas las dimensiones del reactor y del catalizador como se muestran en la Tabla 2. Adicional a esto, se debe seleccionar la correlación a emplear para el cálculo de la caída de presión en los tubos, en este caso la Ecuación de Ergun.

### Modelo Pseudo-homogéneo

El modelo pseudo-homogéneo fue analizado de acuerdo con dos aproximaciones: a) considerando solo el efecto de la dispersión radial y, b) considerando el efecto de la dispersión radial y axial simultáneamente.

En ambos casos se consideraron las siguientes suposiciones: a) estado estacionario, b) en la entrada del reactor ( $\hat{z} = 0$ ) no existen perfiles de concentración ni temperatura, es decir, la corriente de entrada está bien mezclada; c) propiedades constantes a lo largo del reactor, d) perfil de velocidad tipo pistón a lo largo del reactor, es decir,  $v_z(z,r) = u_0 = \text{cte.}$ ; e) presión constante a lo largo del reactor, es decir  $\Delta P = 0$  y, f) la transferencia de calor hacia las paredes del reactor se describe considerando una temperatura constante de 215 °C [5] en la pared exterior de los tubos.

El sistema de ecuaciones global que define el modelo pseudo-homogéneo es expresado según se muestra en las Tablas 6 y 7 [10]:

**Tabla 6. Expresión general del modelo pseudo-homogéneo bidireccional.**

<b>Balance de Masa</b>	$-D_{eff_z} \frac{\partial^2}{\partial z^2} C_A + v_z \frac{\partial}{\partial z} C_A = D_{eff_r} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} C_A \right) + \rho_B r_A$	(Ec. 10)
<b>Balance de Energía</b>	$-k_{eff_z} \frac{\partial^2}{\partial z^2} T + \rho_g C_{p_g} v_z \frac{\partial T}{\partial z} = k_{eff_r} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \rho_B \sum_r (\ddot{A}H_R)_r r_r$	(Ec. 11)

**Tabla 7. Condiciones de borde del modelo pseudo-homogéneo**

Balance de masa	Balance energía
$\frac{\partial}{\partial r} C_A (r, 0) = 0$	$\frac{\partial}{\partial r} T (r, 0) = 0$
$C_A (r, 0) = C_A^0$	$T (r, 0) = T_0$
$\frac{\partial}{\partial r} C_A (R, z) = 0$	$-k_{eff,r} \frac{\partial}{\partial r} T (R, z) = h_w (T - T_w)$
$-D_{eff,z} \frac{\partial}{\partial z} C_A (r, 0) = 0$	$-k_{eff,z} \frac{\partial}{\partial z} T (r, 0) = 0$

La aplicación de este modelo puede ser resumida de la siguiente forma: a) adimensionalización de las ecuaciones, b) aplicación del método de colocación ortogonal, c) cálculo de los coeficientes de transporte y d) aproximación numérica de las ecuaciones. A continuación, se describen los primeros tres ítems de la lista. La aproximación numérica de las ecuaciones fue realizada aplicando el método de Runge – Kutta de 4<sup>to</sup> orden, el cual es bien conocido.

**Expresión adimensional del modelo pseudo-homogéneo**

A fin de facilitar el manejo de la información y dar sentido a los puntos de colocación (que están comprendidos entre 0 y 1) se procedió a definir el modelo matemático descrito en las Tablas 6 y 7 con las variables mostradas en la Tabla 8.

**Tabla 8. Variables adimensionales**

Ejes		Variables	
<b>Axial</b>	$\hat{z} = \frac{z}{L}$	<b>Concentración</b>	$x_c = \frac{C_A}{C_t}$
<b>Radial</b>	$\hat{r} = \frac{r}{R}$	<b>Temperatura</b>	$\theta = \frac{T - T_0}{T_0 - T_w}$

De tal forma que el modelo puede ser expresado como:

- Considerando solo la dispersión radial:

**Tabla 9. Expresión adimensional del modelo pseudo-homogéneo con solo dispersión radial**

<b>Balance de masa</b>	$\frac{\partial}{\partial \hat{z}} x_c = \alpha_{1,r} \frac{1}{\hat{r}} \frac{\partial}{\partial \hat{r}} \left( \hat{r} \frac{\partial}{\partial \hat{r}} x_c \right) + \beta_{1,r} \sum_r v_c r_r$	(Ec. 12)
<b>Balance de energía</b>	$\frac{\partial \theta}{\partial \hat{z}} = \alpha_{2,r} \frac{1}{\hat{r}} \frac{\partial}{\partial \hat{r}} \left( \hat{r} \frac{\partial \theta}{\partial \hat{r}} \right) + \beta_{2,r} \sum_r (\dot{A}H_R)_r r_r$	(Ec. 13)

**Tabla 10. Parámetros adimensionales para el modelo con solo dispersión radial**

Balance de masa		Balance de energía	
$\alpha_{1,r}$	$\left(\frac{Ld_p}{R^2}\right) Pe_{m_r}$	$\alpha_{2,r}$	$\left(\frac{Ld_p}{R^2}\right) Pe_{h_r}$
$\beta_{1,r}$	$\left(\frac{\rho_p (1-\varepsilon)L}{C_t v_z}\right)$	$\beta_{2,r}$	$\frac{\rho_p (1-\varepsilon)L}{(T_0 - T_w) \rho_g C_{p_g} v_z}$

**Tabla 11. Condiciones de borde para el modelo con solo dispersión radial adimensional**

Balance de masa	Balance de energía
$\frac{\partial}{\partial \hat{r}} x_c (\hat{r}, 0) = 0$	$\frac{\partial}{\partial \hat{r}} \theta (\hat{r}, 0) = 0$
$x_c (\hat{r}, 0) = x_c^0$	$\theta (\hat{r}, 0) = 0$
$\frac{\partial}{\partial \hat{r}} x_c (1, \hat{z}) = 0$	$-\frac{\partial}{\partial \hat{r}} \theta (1, \hat{z}) = Bi_r (\theta + 1)$
$\frac{\partial}{\partial \hat{z}} x_c (\hat{r}, 0) = 0$	$\frac{\partial}{\partial \hat{z}} \theta (\hat{r}, 0) = 0$

- Considerando la dispersión radial y axial:

**Tabla 12. Expresión adimensional del modelo pseudo-homogéneo bidireccional**

<b>Balance de Masa</b>	$\frac{\partial}{\partial \hat{z}} V_2 = \gamma_{1,z} V_2 - \alpha_{1,z} \frac{1}{\hat{r}} \frac{\partial}{\partial \hat{r}} \left( \hat{r} \frac{\partial}{\partial \hat{r}} V_1 \right) - \beta_{1,z} \sum_r \nu_c r_r$	(Ec. 14)
	$V_2 = \frac{\partial}{\partial \hat{z}} V_1$	(Ec. 15)
<b>Balance de Energía</b>	$\frac{\partial}{\partial \hat{z}} U_2 = \gamma_{2,z} U_2 - \alpha_{2,z} \frac{1}{\hat{r}} \frac{\partial}{\partial \hat{r}} \left( \hat{r} \frac{\partial}{\partial \hat{r}} U_1 \right) - \beta_{2,z} \sum_r (\dot{A}H_R)_r r_r$	(Ec. 16)
	$U_2 = \frac{\partial}{\partial \hat{z}} U_1$	(Ec. 17)

**Tabla 13. Variables del modelo con dispersión radial y axial**

Balance de masa		Balance de energía	
$V_1$	$x_c$	$U_1$	$\theta$
$V_2$	$\frac{\partial}{\partial \hat{z}} x_c$	$U_2$	$\frac{\partial \theta}{\partial \hat{z}}$

**Tabla 14. Parámetros adimensionales para el modelo con dispersión radial y axial**

Balance de masa		Balance de energía	
$\gamma_{1,z}$	$\frac{L}{d_p} Pe_{m_z}$	$\gamma_{2,z}$	$\frac{L}{d_p} Pe_{h_z}$
$\alpha_{1,z}$	$\frac{L^2}{R^2} \frac{Pe_{m_z}}{Pe_{m_r}}$	$\alpha_{2,z}$	$\frac{L^2}{R^2} \frac{Pe_{h_z}}{Pe_{h_r}}$
$\beta_{1,z}$	$\left( \frac{\rho_p (1-\varepsilon) L^2 Pe_{m_z}}{C_t v_z d_p} \right)$	$\beta_{2,z}$	$\left( \frac{\rho_p (1-\varepsilon) L^2 Pe_{h_z}}{(T_0 - T_w) \rho_g C_{p_g} v_z d_p} \right)$

**Tabla 15. Condiciones de borde para el modelo con dispersión radial y axial adimensional**

Balance de masa	Balance de energía
$\frac{\partial}{\partial \hat{r}} V_1(\hat{r}, 0) = 0$	$\frac{\partial}{\partial \hat{r}} U_1(\hat{r}, 0) = 0$
$V_1(\hat{r}, 0) = V_1^0$	$U_1(\hat{r}, 0) = 0$
$\frac{\partial}{\partial \hat{r}} V_1(1, \hat{z}) = 0$	$-\frac{\partial}{\partial \hat{r}} U_1(1, \hat{z}) = Bi_r (U_1 + 1)$
$V_2(\hat{r}, 0) = 0$	$U_2(\hat{r}, 0) = 0$

**Aplicación del método de colocación ortogonal**

El método de colocación ortogonal permitió aproximar los términos de dispersión radial en forma de ecuaciones algebraicas con coeficientes variables, dependientes del orden de aproximación/número de puntos de colocación empleados, la geometría estudiada y un factor pesante. El modelo pseudo-homogéneo fue transformado desde un sistema de PDE en un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias de acuerdo con el procedimiento descrito para una solución asimétrica detallado por García [11].

El análisis por colocación ortogonal fue realizado para el modelo que considera solo la dispersión radial para tres órdenes de aproximación, N = 1, 2 y 4. Por su parte, para el modelo con dispersión radial y axial se analizó solo para N = 1. En la Tabla 16 se presentan los puntos de colocación estudiados.

**Tabla 16. Puntos de colocación ortogonal hasta N = 4**

N	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>
1	0,5333	-	-	-
2	0,3012	0,7377	-	-
4	0,1252	0,3724	0,6559	0,888

Una vez aplicado el método, el modelo pseudo-homogéneo es representado de la siguiente manera:

- Considerando solo la dispersión radial:

**Tabla 17. Modelo pseudo-homógeno radial en términos de colocación ortogonal**

<b>Balance de masa</b>	$\frac{\partial}{\partial \hat{z}} (x_c)_j = \alpha_{1,r} \sum_{i=1}^{N+2} B_{ji} (x_c)_i + \beta_{1,r} \sum_r v_c r_r$	(Ec. 18)
<b>Balance de energía</b>	$\frac{\partial}{\partial \hat{z}} \theta_j = \alpha_{2,r} \sum_{i=1}^{N+2} B_{ji} (\theta)_i + \beta_{2,r} \sum_r (\ddot{A}H_R)_r r_r$	(Ec. 19)

**Tabla 18. Condiciones de borde para el modelo con dispersión radial en términos de colocación ortogonal**

Balance de masa	Balance de energía
$\sum_i A_{1i} (x_c)_i = 0$	$\sum_i A_{1i} (\theta)_i = 0$
$(x_c)_j (0) = x_c^0$	$(\theta)_j (0) = 0$
$\sum_i A_{(N+2)i} (x_c)_i = 0$	$-\sum_i A_{(N+2)i} (\theta)_i = Bi_r (\theta_{N+2} + 1)$
$\frac{\partial}{\partial \hat{z}} (x_c)_j (0) = 0$	$\frac{\partial}{\partial \hat{z}} (\theta)_j (0) = 0$

- Considerando la dispersión radial y axial:

**Tabla 19. Modelo pseudo-homógeno bidireccional en términos de colocación ortogonal**

<b>Balance de masa</b>	$\frac{\partial}{\partial z} V_2 = \gamma_{1,z} V_2 - \alpha_{1,z} \sum_{i=1}^{N+2} B_{ji} (V_1)_i - \beta_{1,z} \sum_r v_c r_r$	(Ec. 20)
	$V_2 = \frac{\partial}{\partial \hat{z}} V_1$	(Ec. 21)
<b>Balance de energía</b>	$\frac{\partial}{\partial \hat{z}} U_2 = \gamma_{2,z} U_2 - \alpha_{2,z} \sum_{i=1}^{N+2} B_{ji} (U_1)_i - \beta_{2,z} \sum_r (\ddot{A}H_R)_r r_r$	(Ec. 22)
	$U_2 = \frac{\partial}{\partial \hat{z}} U_1$	(Ec.23)

**Tabla 20. Condiciones de borde para el modelo con dispersión radial y axial en términos de colocación ortogonal**

Balance de Masa	Balance de Energía
$\sum_i A_{1i} (V_1)_i = 0$	$\sum_i A_{1i} (U_1)_i = 0$
$(V_1)_j (0) = V_1^0$	$(U_1)_j (0) = 0$
$\sum_i A_{(N+2)i} (V_1)_i = 0$	$-\sum_i A_{(N+2)i} (U_1)_i = Bi_r (U_{1N+2} + 1)$
$\frac{\partial}{\partial z} (V_1)_j (0) = 0$	$\frac{\partial}{\partial z} (U_1)_j (0) = 0$

Donde,

$A_{ij}$ : Coeficientes de la matriz de colocación para la primera derivada.

$B_{ij}$ : Coeficientes de la matriz de colocación para la segunda derivada.

**Estimación de los coeficientes de transporte**

En el modelo pseudo-homogéneo, la estimación del efecto tanto de la dispersión radial como axial, viene dado mediante el uso de parámetros efectivos de transferencia de calor y masa, a saber, conductividad térmica y coeficiente de dispersión. Se detallan las correlaciones empleadas para dichos cálculos.

- Conductividad térmica:

Fue calculada empleando el procedimiento desarrollado por Dixon y Cresswell [12] en términos del número de Péclet.

**Tabla 21. Expresiones para la determinación de las conductividades térmicas efectivas**

Dirección radial	$\frac{1}{Pe_{hr}} = \frac{1}{Pe_{RF}} + \frac{(k_{rs} / k_g)}{Re Pr} \left\{ \frac{[(Bi_f + 4) / Bi_f]}{(8 / N_s) + [(Bi_s + 4) / Bi_s]} \right\}$	(Ec. 24)
Dirección axial	$\frac{1}{Pe_{hz}} = \frac{1}{Pe_{AF}} + \frac{k_{as} / k_g}{Re Pr \left[ 1 + \frac{1}{N_s} \left( \frac{8 Bi_s}{Bi_s + 4} \right) \right]^2}$	(Ec. 25)

Donde,

$Pe_{RF}$ : número de Péclet radial para la fase fluida.

$k_{rs}$ : conductividad radial del sólido.

$Bi_f$ : número de Biot para la fase fluida.

$Bi_s$ : número de Biot para la fase sólida.

$N_s$ : número de transferencia de calor en la interface (fluido – sólido).

$Pe_{AF}$ : número de Péclet axial para la fase fluida.

$k_{as}$ : conductividad axial del sólido.

- Coeficiente de dispersión:

Las difusividades efectivas para las direcciones radial y axial fueron calculadas de acuerdo con las correlaciones desarrolladas por Bauer y Schluender [13] y Foumeny y col. [14], respectivamente.

**Tabla 22. Expresiones para la determinación de las difusividades efectivas**

<b>Dirección radial</b>	$Pe = \frac{8 \left[ 2 - \left( 1 - 2 d_p / d_i \right) \right]}{1,15}$	(Ec. 26)
<b>Dirección axial</b>	$\frac{1}{Pe_{m,i_z}} = \frac{0,72}{Re_p Sc_i} + \frac{0,53}{\left( 1 + \frac{9}{Re_p Sc_i} \right)}$	(Ec. 27)

Donde,

$d_p$ : diámetro de las partículas de catalizador.

$d_i$ : diámetro de los tubos del reactor.

$Re_p$ : número de Reynolds en las partículas de catalizador.

$Sc_i$ : número de Schmidt del componente "i".

Para la estimación del número de Schmidt se emplearon coeficientes de difusión estimados a partir de la correlación de Fuller y col. [15] y la difusividad pseudo-binaria de acuerdo con la Ecuación 28.

$$D_i = (1 - y_i) \left( \sum_j \frac{y_j}{D_{ij}} \right)^{-1} \quad (\text{Ec. 28})$$

## Resultados

En la Tabla 23 se presentan los valores determinados para los parámetros principales del modelo.

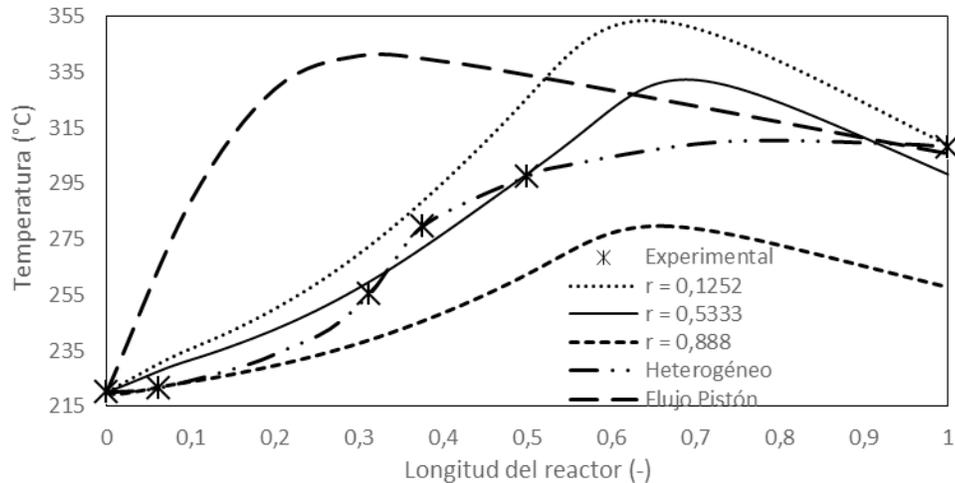
**Tabla 23. Valores calculados de los parámetros del modelo**

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
$\alpha_{1,r}$	3,7398	$\alpha_{2,z}$	2.290,3489
$\beta_{1,r}$	1.464,0799	$\beta_{2,z}$	-5.210,4042
$\alpha_{2,r}$	4,2938	Bi	4,8848
$\beta_{2,r}$	9,7681	$U_0$	699,3222 [W/m <sup>2</sup> K]
$\gamma_{1,z}$	513,2618	$Pe_{h_r}$	9,9369
$\alpha_{1,z}$	1.919,5157	$Pe_{h_z}$	2,0003
$\beta_{1,z}$	751.456,2865	$Pe_{m_r}$	11,4087
$\gamma_{2,z}$	533,4124	$Pe_{m,i_z}$	1,9247

### Perfil de Temperatura

En la Figura 2 se muestran los perfiles obtenidos a partir de las simulaciones con el modelo de flujo pistón, el modelo pseudo-homogéneo (en los puntos extremos y central), el modelo heterogéneo (desarrollado por Song y col. [5]) y los datos experimentales de la planta piloto de KOGAS [5].

Cabe destacar que, en lo sucesivo, y a menos que se indique lo contrario, se señalarán los perfiles obtenidos mediante el modelo pseudo-homogéneo, mediante las posiciones radiales en los que fueron obtenidos (Ej.:  $r = 0,5333$ ). Asimismo, los valores experimentales son representados como el promedio de ocho corridas de la planta piloto [5].



**Figura 2. Perfil de Temperatura del reactor**

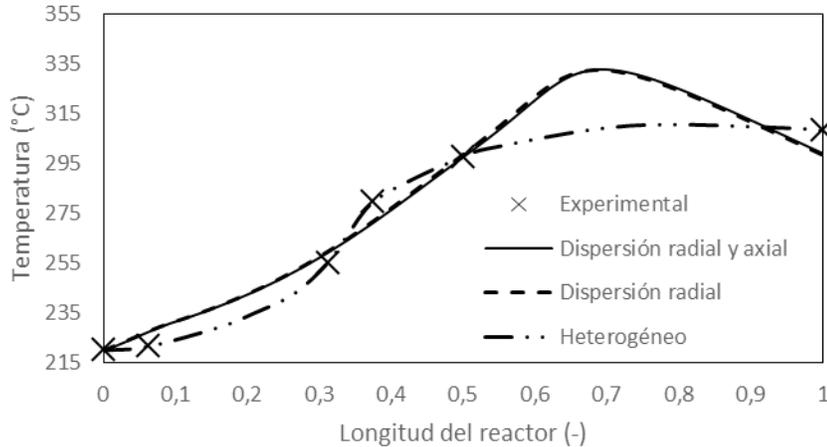
Como puede observarse en la Figura 2, el modelo de flujo pistón no es capaz de predecir el comportamiento interno del reactor, indicando un máximo en la temperatura hacia la posición axial 0,3. Por su parte, el modelo pseudo-homogéneo si muestra concordancia con los datos experimentales y sugiere la existencia de un punto caliente hacia la posición axial 0,7, donde la temperatura superaría los 355°C hacia posición radial 0. De igual manera, se puede observar un efecto importante de la dispersión radial en la temperatura del reactor. En la Tabla 24 se muestra la raíz del cuadrado de la desviación media (RMSD) para cada perfil radial analizado.

**Tabla 24. Desviación de los perfiles de temperatura respecto a los datos experimentales**

Posición radial	$r = 0,1252$	$r = 0,3012$	$r = 0,3724$	$r = 0,5333$	$r = 0,6559$	$r = 0,7377$	$r = 0,888$
<b>RMSD</b>	$\pm 15,92$ °C	$\pm 11,74$ °C	$\pm 10,68$ °C	$\pm 6,51$ °C	$\pm 16,18$ °C	$\pm 20,16$ °C	$\pm 32,18$ °C

La desviación mínima se encontró hacia la posición radial intermedia 0,5333, mientras que hacia los extremos la desviación fue ligeramente mayor. Esto es atribuido, al hecho de que, para la estimación de los coeficientes de transporte, solo se consideró como mecanismo de transferencia de calor, la conducción térmica (ver Tabla 21).

En la Figura 3 se muestra el efecto de la dispersión axial en el perfil de temperatura del reactor, el cual demostró ser insignificante para la posición radial media 0,5333.



**Figura 3. Efecto de la dispersión axial en el perfil de temperatura**

Como consideración final al análisis del perfil de temperatura, cabe destacar, que el modelo heterogéneo predice valores en el rango de  $\pm 8.8^{\circ}\text{C}$  [5], tal nivel de exactitud se debe a que el mecanismo de transferencia de calor considerado en este modelo fue la convección.

### Perfil de Concentración

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos en los perfiles de concentración para los modelos de flujo pistón y pseudo-homogéneo bidireccional considerando solo el efecto de la dispersión radial en la posición 0,5333. En las Figuras 5 y 6 se muestra el efecto de la dispersión radial y axial en los perfiles de concentración, respectivamente, para el metanol. En todas las figuras se muestran los datos experimentales para ocho corridas de la planta piloto [5].

Como se observa en la Figura 4 el comportamiento interno que predicen ambos modelos es significativamente diferente, esto atribuido a los efectos de la dispersión, sin embargo, las composiciones en la salida son bastante similares. Cabe destacar que, análogo al perfil de temperatura, los perfiles obtenidos mediante el modelo pseudo-homogéneo coinciden en gran medida con los presentados por Song. et al. [5], cuyos resultados son muy cercanos a los experimentales. Sin embargo, al no existir data en puntos intermedios del reactor ninguno de estos perfiles puede ser corroborado con exactitud.

Por su parte, en las Figuras 5 y 6 se aprecia que los efectos de la dispersión radial y axial son despreciables para el estudio de los perfiles de concentración, aun cuando el efecto radial es comparativamente mucho más cuantificable que el axial.

En la Tabla 25 puede observarse que no existe mayor diferencia entre los resultados provistos por ambos modelos para la salida del reactor, inclusive, el modelo de flujo pistón demostró ser más exacto, sin embargo, ambos modelos proveen resultados dentro del orden de magnitud esperado, lo cual se considera aceptable tomando en cuenta el reducido esfuerzo de programación y cálculo requerido para obtenerlos, en comparación con el modelo heterogéneo.

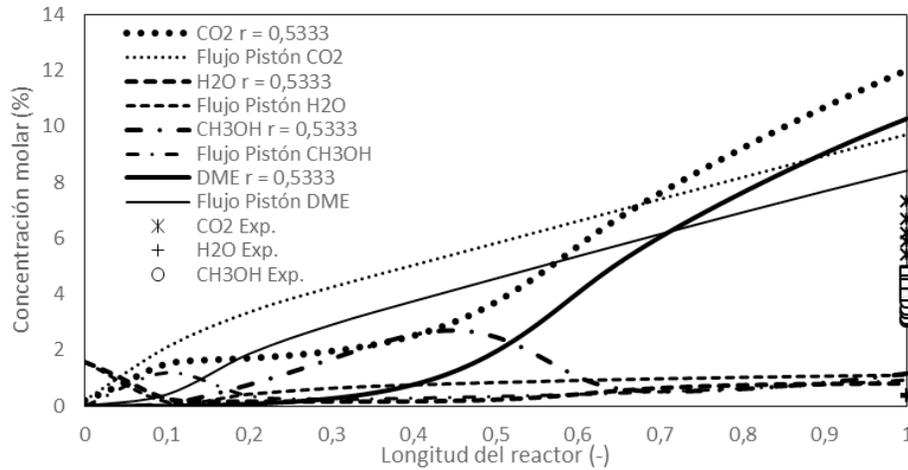


Figura 4. Perfiles de concentración obtenidos mediante los modelos de flujo pistón y pseudo-homogéneo

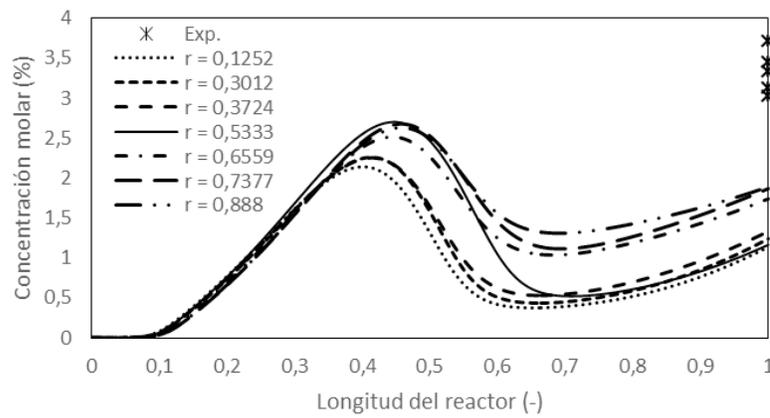


Figura 5. Efecto de la dispersión radial en el perfil de concentración del metanol

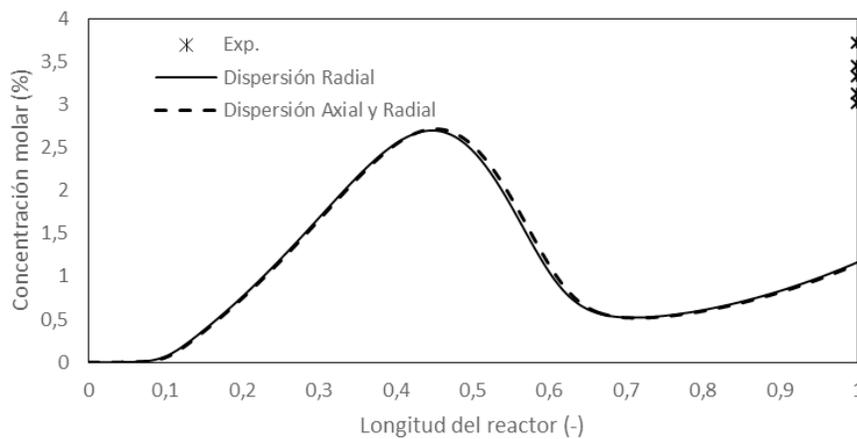


Figura 6. Efecto de la Dispersión axial en el perfil de concentración del metanol  
 Tabla 25. Desviación media en la predicción de la concentración en la salida del reactor

Compuesto/ Posición-Modelo <sup>1</sup>	0,1252	0,3012	0,3724	0,5333	0,6559	0,7377	0,888	Global	Flujo Pistón
H <sub>2</sub>	2,44	2,57	2,50	2,61	2,64	2,82	2,70	2,62	1,88
CO	7,13	7,41	7,18	7,70	7,23	7,53	7,22	7,35	4,63
CO <sub>2</sub>	5,35	5,54	5,37	5,76	5,38	5,58	5,36	5,48	3,48
H <sub>2</sub> O	0,47	0,45	0,41	0,44	0,32	0,31	0,29	0,39	0,74
CH <sub>3</sub> OH	2,20	2,10	2,01	2,18	1,61	1,48	1,46	1,89	2,41
DME	5,49	5,64	5,44	5,85	5,35	5,53	5,30	5,52	3,99
CH <sub>4</sub>	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05

Nota 1: Valores expresados en rango porcentual.

## Conclusiones

El modelo pseudo-homogéneo bidireccional predice un perfil de temperatura dentro de la tendencia mostrada por los datos experimentales y el modelo heterogéneo. La desviación con respecto a los datos experimentales, se encuentra en el orden de  $\pm 6,5^{\circ}\text{C}$  para la posición radial 0,5333. Asimismo, sugiere la aparición de puntos calientes alrededor de la posición axial 0,7 donde la temperatura podría superar los  $355^{\circ}\text{C}$  poniendo en peligro la estabilidad térmica del catalizador.

El modelo de flujo pistón no predice correctamente el perfil de temperatura en el reactor para la síntesis de DME estudiado.

Tanto el modelo de flujo pistón como el pseudo-homogéneo, muestran la misma tendencia en los perfiles de concentración y proveen resultados dentro del orden de magnitud esperado.

Para el presente caso de estudio no se observó una influencia considerable de la dispersión axial en los perfiles de temperatura ni concentración.

En los perfiles de temperatura el efecto de la dispersión radial es importante, para los perfiles de concentración no representa un factor determinante.

Considerando el menor esfuerzo de manejo matemático y programación, con respecto al modelo heterogéneo, se considera aceptable la solución provista por el modelo pseudo-homogéneo. Para el caso del modelo de flujo pistón los perfiles de concentración son aceptables, no siendo así el de temperatura.

Las discrepancias encontradas en los perfiles de concentración se atribuyen a la influencia de las limitaciones en la transferencia de masa y calor entre la fase fluida y la superficie del catalizador.

## Referencias bibliográficas

1. Semelsberger, T., Borup, R., Greene, H (2006). DME as an alternative fuel. *Journal of Power Sources*. 156, 2, p 497–511.
2. Yoon, E., Han, C. (2009). A Review of Sustainable Energy – Recent Development and Future Prospects of Dimethyl Ether (DME). 10th International Symposium on Process Systems Engineering.
3. Cho, W. y col. (2011). Production of DME from CBM by KOGAS DME Process. *Korean Hydrogen and New Energy Society*. 22, 6, p 925-933.
4. Arcoumanis, C. y col. (2008). The potential of di-methyl ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines: A review. *Fuel*. 87, 7, p 1014–1030.

5. Song, D. y col. (2008). Numerical Analysis of a Pilot-Scale Fixed-Bed Reactor for Dimethyl Ether (DME) Synthesis. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2008, 47, p 4553–4559.
6. Vanden Bussche, K., Froment, G. (1996). A Steady-State Kinetic Model for Methanol Synthesis and the Water Gas Shift Reaction on a Commercial Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst. *Journal of Catalysis* 161, 1–10.
7. Bercic, G., Levec, J. (1992). Intrinsic and Global Reaction Rate of Methanol Dehydration over  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Pellets. *Ind. Eng. Chem. Res.* 1992,31, 1035-1040.
8. Aspen Tech (2016). Aspen Plus V8.8 Help.
9. Kunii, D., Levenspiel, O. (1991). *Fluidization Engineering*. 2da Edición. Butterworth—Heinemann. Series in Chemical Engineering.
10. Jakobsen, H. (2008). *Chemical Reactor Modelling: Multiphase Reactive Flows*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
11. García, C. (2008). *Métodos Aproximados Aplicados a Fenómenos de Transporte*. La Universidad del Zulia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
12. Dixon, A. y Cresswell, D. (1979). Theoretical Prediction of Effective Heat Transfer Parameters in Packed Beds. *AIChE Journal*. Vol. 25, No. 4. p 663 - 676.
13. Bauer, R. y Schluender, E. (1978). Effective Radial Conductivity of Packing in Gas Flow. Part I. Convective Transport Coefficient. *International Chemical Engineering*, 18, p 189-204.
14. Foumeny, E. y col. (1992). Estimation of Dispersion Coefficients in Packed Beds. *Chem. Eng. Technol.* 15. p 168- 181.
15. Fuller, E. y col. (1966). A New Method for Prediction of Binary Gas Phase Diffusion Coefficients. *Industrial and Engineering Chemistry*. Vol. 58. No. 5. p 18 - 27.



# **Efecto de la disponibilidad de nutrientes y la adición de coagulantes sobre la sedimentabilidad de lodos activados**

**Vanessa Finol<sup>1</sup>, Isabel González<sup>1</sup>, Lenin Herrera<sup>1</sup> y Lewis Godoy<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.

<sup>2</sup>Laboratorio de Control de Calidad de Efluentes Líquidos. Superintendencia de Calidad e Investigación y Desarrollo. Oxiteno Andina C.A.Santa Rita, Estado Zulia, Venezuela.

Email: [vanessafinol1995@hotmail.com](mailto:vanessafinol1995@hotmail.com), [isacgl1997@gmail.com](mailto:isacgl1997@gmail.com), [leninherre@gmail.com](mailto:leninherre@gmail.com), [lm7s@oxiteno.com](mailto:lm7s@oxiteno.com),

Recibido: 05-04-2017

Aceptado: 19-09-2017

## **Resumen**

Tanto la disponibilidad de nutrientes como la adición de coagulantes pueden influenciar la capacidad de asentamiento de lodos biológicos de una planta de tratamiento de aguas residuales (P.T.A.R). Con la finalidad de evaluar tal influencia en la P.T.A.R de una industria química, se caracterizaron su afluente y efluente. Posteriormente, se realizaron pruebas de jarra utilizando como coagulantes sulfato de aluminio, cloruro férrico y quitosano para estudiar su efecto sobre la sedimentabilidad del lodo. Finalmente, se llevaron a cabo estudios experimentales en reactores por carga a escala de laboratorio para verificar el desempeño del coagulante que mostró mayor eficiencia durante los ensayos de jarra; así como para determinar la influencia de la disponibilidad de nutrientes en el proceso de sedimentación, estimando las dosis de nitrógeno y fósforo que deben añadirse en base a la DBO medida en el afluente y a los SSV perdidos por el efluente. Los resultados obtenidos en la caracterización permitieron detectar una baja carga orgánica y una deficiencia de nutrientes en el sistema. Igualmente, se encontró que tanto la adición del quitosano como la reposición de nutrientes en base a los SSV perdidos por el efluente tienen un impacto positivo en la sedimentación de los lodos.

**Palabras clave:** Lodos activados, sedimentación, nutrientes, coagulantes.

# **Effect of the availability of nutrients and the addition of coagulants on the sedimentability of activated sludge**

## **Abstract**

Both the availability of nutrients and the addition of coagulants can influence the activated sludge settling capacity of a wastewater treatment plant (W.W.T.P). In order to evaluate such influence in the W.W.T.P of a chemical industry, its influent and effluent were characterized. Subsequently, jar tests were performed using aluminum sulfate, ferric chloride and chitosan as coagulants to study their effect on the sedimentability of the sludge. Finally, experimental studies were carried out in laboratory-scale batch reactors to verify the performance of the coagulant which showed greater efficiency during the jar tests; as well as to determine the influence of nutrient availability on the sedimentation process, estimating the doses of nitrogen and phosphorus to be added based on the BOD measured in the influent and the SSV lost by the effluent. The results obtained in the characterization allowed the detection of a low organic load and the deficiency of nutrients in the system. It was

also found that both, the addition of chitosan and the replacement of nutrients on the basis of the SSV lost by the effluent have a positive impact on the sludge's sedimentation.

**Keywords:** Activated sludge, sedimentation, nutrients, coagulants.

## Introducción

En el tratamiento biológico con lodos activados, el residuo orgánico se introduce en un reactor donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se conoce con el nombre de licor mezclado, y consiste en una mezcla de la masa activa de microorganismos y las aguas residuales que se tratan en el proceso. [1] La planta de tratamiento de aguas residuales en la que se llevó a cabo este estudio utiliza el sistema de lodos activados para purificar tanto las aguas negras generadas en la empresa como las aguas industriales procedentes de la manufactura de glicoles y productos derivados de óxido de etileno, tales como polioles y tensoactivos no iónicos.

En una planta con estas características, la sedimentación se aplica para separar la biomasa que se genera en el reactor durante la degradación de los contaminantes del agua residual, para dejarla libre de sólidos suspendidos. [2] La capacidad de asentamiento en el sistema puede medirse a través del Índice Volumétrico de Lodos (IVL), el cual se define como los mililitros de lodo por gramo de sólidos suspendidos totales, basado en 30 minutos de decantación de un litro de licor mezclado. [3]

Por otro lado, los sistemas de lodos activados requieren la existencia de un equilibrio entre la fuente de carbono y las concentraciones de nutrientes como nitrógeno y fósforo, para lograr un adecuado desarrollo de la biomasa en el reactor biológico. [4] De acuerdo con lo anterior, los requerimientos de nitrógeno y fósforo se estiman normalmente sobre la base de la  $DBO_5$  del agua residual, de modo que la relación  $DBO_5:N:P$  sea 100:5:1. [5] Aunque ésta proporción ha demostrado cubrir los requerimientos de nutrientes, su aplicación puede sobreestimar las necesidades reales de los mismos. [6] Para evitar esta situación, se ha propuesto calcular los requerimientos de nutrientes sobre la base de la cantidad de lodo que es purgado del sistema utilizando las siguientes expresiones:

$$\text{Requerimiento de N} = 0,122 * SSV \quad (1)$$

$$\text{Requerimiento de P} = 0,023 * SSV \quad (2)$$

En otro orden de ideas, existen distintos problemas operacionales que pueden ocasionar que los lodos biológicos no sedimenten a una velocidad adecuada que permita obtener una buena clarificación, causando un incremento en el IVL del sistema, lo cual refleja una deficiencia en la calidad del tratamiento; en estos casos la adición de coagulantes surge como una medida correctiva. Debe resaltarse que existen numerosos compuestos que pueden actuar como coagulantes, y la efectividad de uno u otro varía dependiendo de su naturaleza y de las características del agua a tratar. En este sentido, las sales inorgánicas que pueden formarse con Al(III) y Fe(III) son ampliamente utilizadas como coagulantes químicos en el tratamiento de aguas residuales [7]. La desestabilización producida por estos coagulantes está influenciada por tres factores: dosificación de coagulante, pH y concentración coloidal. [8]

En contraparte, el quitosano es un copolímero lineal de D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina, cuyo peso molecular, cristalinidad y grado de desacetilación (DD) le confieren propiedades coagulantes [9]. Además de contar con una estructura de cadena larga, el quitosano posee abundantes grupos amino libres a lo largo de su cadena principal, los cuales pueden protonarse en medio ácido; caso en el cual el quitosano se comportaría como un polielectrolito catiónico típico. Asimismo, el quitosano debe a sus grupos amino e hidroxilo disponibles, su aplicación en la quelación de iones metálicos tales como  $Hg^{2+}$  y  $Cu^{2+}$  para formar complejos insolubles, lo que permite la eliminación eficaz de los contaminantes. [10]

## Parte experimental

### Caracterización del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales

1. Análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) empleando el método Hach 8043.
2. Análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO) empleando el método Hach 8000.
3. Análisis de pH utilizando el método potenciométrico.
4. Análisis de nitrógeno empleando el método 4500 M establecido en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
5. Análisis de fósforo mediante el Test de Fosfatos 1.14848.0001 de la Merck.
6. Análisis de sólidos suspendidos totales (SST) empleando el método 2540 B establecido en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
7. Análisis de sólidos suspendidos volátiles (SSV) empleando el método 2540 E establecido en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

### Realización de pruebas de jarra

El proceso de determinación de las dosis a evaluar en cada prueba de jarra fue similar para los tres coagulantes. En el caso de la primera prueba, se seleccionaron concentraciones bajas, desde 4 mg/L, aumentando en intervalos de 4 mg/L hasta alcanzar 20 mg/L. Las concentraciones a utilizar en los test de jarra posteriores, dependieron de la eficiencia del coagulante. Las dosis evaluadas se continuaron incrementando hasta alcanzar una concentración en la que la acción del coagulante no beneficiara la sedimentación de los lodos activados. La metodología adoptada para el test consistió en 30 segundos de mezcla rápida, colocando el equipo en 100 rpm, seguido de 5 minutos de mezcla lenta a 20rpm y finalmente 20 minutos de sedimentación.

Una vez culminado el tiempo de sedimentación, se procedió a analizar color aparente, turbidez y pH del sobrenadante de cada muestra. Seguidamente, se seleccionó aquella dosis que presentase una mejor sedimentación y se determinó la concentración de SST del sobrenadante y el IVL de esta muestra, a fin de obtener un porcentaje de reducción de IVL en comparación con la muestra inicial.

### Realización de pruebas experimentales en reactores por carga a escala de laboratorio

Se instaló un sistema conformado por reactores tipo batch. Para la realización de la primera prueba se dispuso de cuatro reactores, empleándose uno como blanco, uno para verificar la efectividad del coagulante (Reactor Q), uno para evaluar la dosis de nutrientes calculada en base a los SSV del efluente (Reactor N<sub>1</sub>) y uno para evaluar la dosis de nutrientes calculada a partir de la DBO del afluente (Reactor N<sub>2</sub>). En el caso de la segunda prueba, operaron únicamente dos reactores, en uno de ellos se examinó el efecto conjunto del coagulante con la dosis de nutrientes más efectiva y el otro fue empleado como blanco. Es importante mencionar que los nutrientes se adicionaron mediante soluciones de urea y ácido fosfórico. La metodología aplicada en el desarrollo de cada prueba se describe a continuación:

1. Adicionar a cada reactor 2 L de lodo concentrado proveniente del tanque de lodos activados de la P.T.A.R.
2. Agregar a cada reactor 2 L de agua residual cruda proveniente del afluente de la P.T.A.R.
3. Colocar la aireación y esperar 10 minutos para que se establezca el sistema.
4. Añadir con una pipeta la solución correspondiente a cada reactor.
5. Determinar inmediatamente después de la adición los valores de pH, DQO, concentración de fósforo, concentración de nitrógeno, SST e IVL.

6. Mantener la aireación hasta que se cumpla un tiempo de residencia de 18 horas.

7. Una vez culminado el tiempo de residencia retirar la aireación y determinar los valores de pH, DQO, concentración de fósforo, concentración de nitrógeno, SST e IVL.

## Resultados y discusión

A continuación se presenta la Tabla 1, la cual contiene los resultados de la caracterización del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 1. Caracterización del afluente y efluente de la P.T.A.R.**

Parámetro / Fuente	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	Nitrógeno (mg/L)	Fósforo (mg/L)
Afluente	7.60	478.29	1572	103	77	1.2	0.28
Efluente	7.68	37.52	317	60	40	15.58	0.5

Se observa que la relación DBO/DQO obtenida en el afluente es igual a 0.3; encontrándose esta cifra en el límite inferior admisible. Este resultado se traduce en una baja relación F/M, ya que apenas el 30% de la alimentación es biodegradable por los microorganismos que conforman el sistema.

Debe destacarse que la relación SSV/SST en el efluente presenta un valor de 0.67, lo que indica que del total de sólidos suspendidos que salen del sistema, el 67% está conformado por material celular sintetizado. Al evaluar los resultados de nitrógeno y fósforo, puede observarse que en el afluente las concentraciones de estos nutrientes son bajas en comparación con las proporciones teóricas. Asimismo, se encontró que el efluente presenta un alto contenido de estos elementos, lo que indica una pérdida de los mismos en la biomasa que se purga por el efluente; hecho que deriva en una deficiencia de nutrientes en el sistema.

Seguidamente, se presentan las tablas que contienen los resultados de las pruebas de jarra. En primer lugar, se muestra la Tabla 2, en la cual se exhiben los resultados del test de jarra utilizando sulfato de aluminio como coagulante.

**Tabla 2. Parámetros evaluados durante prueba de jarra empleando sulfato de aluminio como coagulante**

Parámetro / Muestra	Inicial	B	1	2	3	4	5
Concentración (ppm)	0	0	20	40	60	80	100
pH	7.62	7.63	7.43	7.41	7.22	7.17	6.96
Turbidez (FTU)	-	>461	194	193	70	62	44
Color Aparente (U. Pt/Co)	-	>550	>550	>550	374	334	243
SST sobrenadante (mg/L)	-	-	-	-	80	60	40
SST licor mezclado (g/L)	2.17	-	-	-	2.56	2.48	2.46
Decantación (mL/L)	980	-	-	-	990	980	980
IVL (mL/g)	451.61	-	-	-	387	395	405
%Reducción IVL	-	-	-	-	14.37	12.5	10.33

En general, esta prueba de jarra arrojó resultados pobres en lo que respecta a porcentaje de reducción de IVL. Por otro lado, los valores de color aparente y turbidez disminuyen notablemente al incrementarse la concentración de coagulante. Esta tendencia indica que la etapa de coagulación fue efectiva, ya que se logró una remoción de las partículas coloidales. Sin embargo, el volumen de lodo sedimentado fue superior al volumen de sobrenadante; es decir, que la etapa de floculación no fue eficaz, al no formarse flóculos

suficientemente densos para sedimentar. Lo anterior se debe a que durante el experimento no se logró una combinación favorable de las variables pH y dosis de coagulante.

A continuación se presenta la Tabla 3, la cual contiene los resultados obtenidos durante la realización de la prueba de jarra utilizando cloruro férrico como coagulante.

**Tabla 3. Parámetros evaluados durante prueba de jarra empleando cloruro férrico como coagulante**

Muestra Parámetro	Inicial	B	1	2	3	4	5
Concentración (ppm)	0	0	20	30	40	50	60
pH	7.86	7.77	7.5	7.42	7.3	7.24	7.15
Turbidez (FTU)	-	138	68	63	59	54	51
Color Aparente (U. Pt/Co)	-	>550	373	348	310	292	269
SST sobrenadante (mg/L)	-	-	-	-	20	60	-
SST licor mezclado (g/L)	2.46	-	-	-	2.64	2.54	-
Decantación (mL/L)	995	-	-	-	990	990	-
IVL (mL/g)	404.47	-	-	-	375	389	-
%Reducción IVL	-	-	-	-	7.29	3.82	-

Puede apreciarse que la adición de este compuesto no benefició de forma considerable la sedimentabilidad de los lodos, lo cual se refleja en un bajo porcentaje de reducción de IVL. Por otra parte, los valores de color y turbidez se redujeron conforme aumentaba la dosis de coagulante. Su bajo rendimiento puede atribuirse a que durante el experimento no se trabajó dentro del rango de pH óptimo para favorecer el proceso de coagulación con cloruro férrico.

La Tabla 4 contiene los resultados obtenidos durante la prueba de jarra llevada a cabo utilizando quitosano como coagulante.

**Tabla 4. Parámetros evaluados durante prueba de jarra empleando quitosano como coagulante**

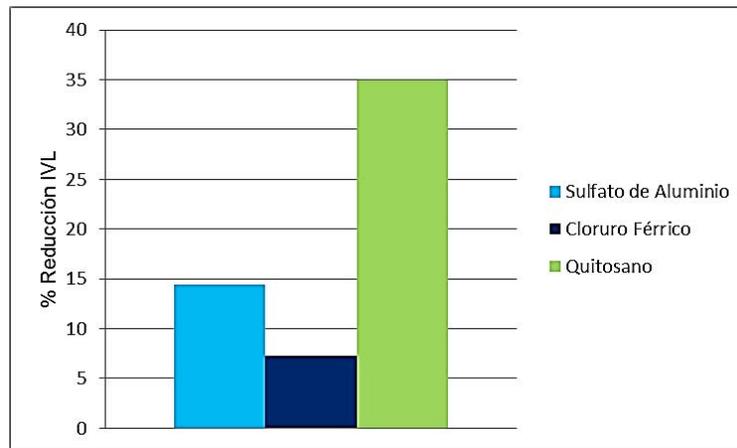
Muestra Parámetro	Inicial	B	1	2	3	4	5
Concentración (ppm)	0	0	4	8	12	16	20
pH	8.02	8.02	8.01	7.95	7.90	7.89	7.85
Turbidez (FTU)	-	158	35	29	28	27	29
Color Aparente (U. Pt/Co)	-	>550	198	160	159	158	160
SST sobrenadante (mg/L)	-	-	-	-	100	100	120
SST licor mezclado (g/L)	1.86	-	-	-	2.07	2.05	2.05
Decantación (mL/L)	990	-	-	-	940	710	880
IVL (mL/g)	532.26	-	-	-	454	346	429
%Reducción IVL	-	-	-	-	14.7	34.99	19.4

Los resultados arrojados por el experimento demuestran un rendimiento elevado del quitosano como coagulante, hecho que se traduce en un porcentaje de reducción de IVL considerable. Es importante destacar que durante el desarrollo del test se observó la formación de flóculos de gran tamaño con una rápida velocidad de sedimentación, excepto para la muestra de 20 ppm, en la que se observó una pequeña cantidad de flóculos que permanecían en la superficie. Este hecho se debe probablemente a una reestabilización de las partículas coloidales por exceso de coagulante.

El desempeño obtenido indica que posiblemente el mecanismo de coagulación predominante es el de adsorción y puente interparticular. En este sentido, el quitosano posee una cadena principal larga con numerosos grupos funcionales que interaccionan con las partículas coloidales, mientras que el resto de la

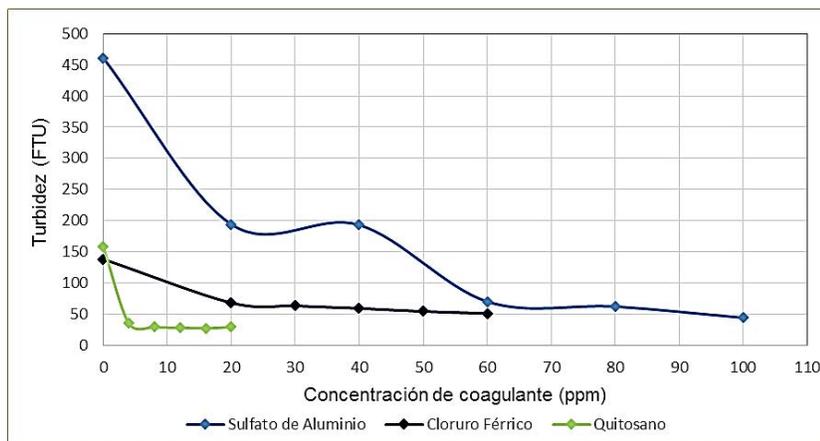
molécula se extiende hacia la solución, adsorbiéndose en otras partículas y actuando como puente entre ellas. Lo anterior aunado al alto peso molecular del quitosano y a la conformación estructural que adquiere a valores de pH como los manejados en este experimento, deriva en la formación de flóculos densos capaces de sedimentar en una capa compacta de lodo.

Seguidamente se muestran una serie de gráficos que permiten comparar los resultados obtenidos en lo que respecta a porcentaje de reducción de IVL, turbidez y color para cada coagulante.



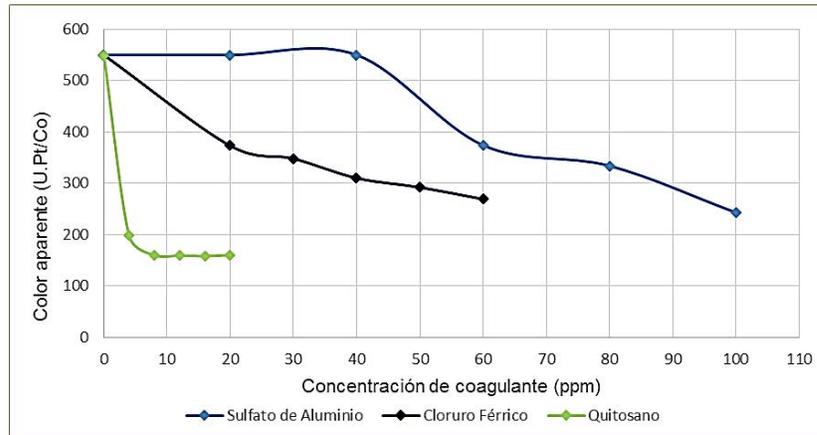
**Figura 1. Porcentaje de reducción de IVL obtenido para la dosis óptima de cada coagulante**

En la figura 1 se muestra que el quitosano fue el coagulante que arrojó mejores resultados, beneficiando en mayor medida la sedimentabilidad de los lodos. Lo anterior se refleja en un porcentaje de reducción de IVL de 34.99% para la dosis óptima de este coagulante, siendo el valor de la misma igual a 16 ppm.



**Figura 2. Concentración de coagulante (ppm) vs Turbidez (FTU)**

Puede observarse en la figura 2 que todas las curvas exhiben la misma tendencia; en este sentido, la turbidez tiende a disminuir a medida que se incrementa la dosis de coagulante. No obstante, el sulfato de aluminio y el quitosano presentan inicialmente una reducción brusca de la turbidez para luego disminuir gradualmente, en el caso del sulfato de aluminio; y tomar valores prácticamente constantes, en el caso del quitosano. Por otro lado, el cloruro férrico genera un efecto menos contundente sobre este parámetro. Finalmente, puede concluirse que el ensayo con quitosano arrojó los mejores resultados con respecto a este parámetro; lográndose el valor más bajo de turbidez empleando concentraciones de quitosano considerablemente menores que las requeridas al emplear cloruro férrico o sulfato de aluminio.



**Figura 3. Concentración de coagulante (ppm) vs Color aparente (U.Pt/Co)**

En la figura 3, para todos los casos se evidencia una disminución del color a medida que se incrementa la dosis de coagulante añadida. En el caso del sulfato de aluminio puede apreciarse que el color disminuye muy poco a concentraciones bajas, sin embargo, a concentraciones superiores a 40 ppm se observa una reducción considerable de este parámetro.

Con respecto al cloruro férrico, se tiene que el color aparente decrece de forma más uniforme y en mayor medida que con el sulfato de aluminio. Por otro lado, el quitosano genera un efecto importante sobre el parámetro evaluado, logrando disminuir drásticamente su valor con una adición de apenas 4 ppm, manteniendo valores similares para concentraciones mayores.

La eficiencia del quitosano como coagulante se verifica según las tendencias presentadas en esta figura, ya que logra el valor más bajo de color aparente con una adición considerablemente baja, en relación a la requerida si se emplea sulfato de aluminio o cloruro férrico.

A continuación, se presentan los resultados de los experimentos en reactores por carga a escala de laboratorio.

**Tabla 5. Evaluación del efecto de quitosano y de distintas dosis de nutrientes en reactores por carga a escala de laboratorio en tiempo inicial**

Tiempo de residencia (horas)		0			
Reactor	Blanco	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	Q	
pH	8.15	8.1	7.59	8.00	
DQO (mg/L)	974	975.5	998.5	1000.5	
Fósforo (mg/L)	0.84	1.055	1.145	0.76	
Nitrógeno (mg/L)	9.27	12.84	28.54	8.56	
SSTLM (g/L)	2.29	2.33	2.27	2.35	
Decantación (mL/L)	750	790	640	770	
IVL (mL/g)	327.51	339.06	281.94	327.66	

**Tabla 6. Evaluación del efecto de quitosano y de distintas dosis de nutrientes en reactores por carga a escala de laboratorio en tiempo de residencia de 18 horas**

Tiempo de residencia (horas)		18			
Parámetro \ Reactor	Blanco	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	Q	
pH	8.17	8.09	8.17	8.17	
DQO (mg/L)	637	554.5	542.5	540.5	
Fósforo (mg/L)	0.36	0.295	0.21	0.28	
Nitrógeno (mg/L)	9.27	9.99	15.70	8.56	
SSTLM (g/L)	3.26	3.34	2.34	3.51	
Decantación (mL/L)	950	900	715	580	
IVL (mL/g)	291.41	269.16	305.56	165.24	
%Reducción IVL	11.02	20.62	0	49.57	
%Remoción DQO	34.60	43.16	45.67	45.98	

Los resultados obtenidos en el reactor Q, muestran que la concentración de SST del licor mezclado aumentó considerablemente al culminar el tiempo de residencia, lo cual se atribuye a la reproducción de los microorganismos. Lo anterior, combinado con la disminución del volumen de lodo sedimentado por acción del coagulante, resulta en un elevado porcentaje de reducción de IVL. Por otro lado, se observa que el porcentaje de remoción de DQO fue superior al mostrado por el reactor blanco, al comparar los valores mostrados en la tabla 5 y 6.

Los resultados de los análisis realizados en el reactor N<sub>2</sub> reflejan un aumento en el IVL a las 18 horas, lo cual puede deberse a una baja carga orgánica en la muestra tomada, que ocasionó que los microorganismos consumieran toda la materia orgánica biodegradable antes de cumplirse el tiempo de residencia. Como consecuencia de la falta de alimento, los microorganismos perdieron peso y aumentó el número de bacterias muertas, lo cual derivó en una decantación pobre, baja reproducción de los microorganismos y finalmente, un IVL superior al inicial; Sin embargo, el porcentaje de remoción de DQO fue superior al reportado por el reactor blanco, lo que demuestra que la degradación de materia orgánica mejoró con la adición de los nutrientes, al comparar los valores referidos en tabla 5 y 6.

Asimismo, se observa una disminución de las concentraciones de fósforo y nitrógeno a las 18 horas, tanto en el reactor N<sub>1</sub> como en el reactor N<sub>2</sub>; esto revela que los microorganismos utilizaron los nutrientes añadidos para su metabolismo. Por otro lado el reactor N<sub>1</sub> exhibió resultados positivos, con un porcentaje de reducción de IVL de 20.62% y un porcentaje de remoción de DQO de 43.16%. Los valores obtenidos motivaron la realización de un segundo ensayo para evaluar el efecto combinado del quitosano y de esta dosis de nutrientes. En este sentido, se presentan los resultados de los análisis realizados en la tabla 7 y 8.

**Tabla 7. Evaluación del efecto combinado de nutrientes y quitosano en reactores por carga a escala de laboratorio en tiempo inicial**

Tiempo de residencia (horas)		0	
Parámetro \ Reactor	Blanco	N <sub>1</sub> + Q	
pH	8.23	8.01	
DQO (mg/L)	493	526.5	
Fósforo (mg/L)	0.645	0.5	
Nitrógeno (mg/L)	7.21	11.53	
SSTLM (g/L)	1.85	1.94	
Decantación (mL/L)	950	850	

IVL (mL/g)	513.51	438.14
------------	--------	--------

**Tabla 8. Evaluación del efecto combinado de nutrientes y quitosano en reactores por carga a escala de laboratorio en tiempo de residencia de 18 horas**

Tiempo de residencia (horas)		18
Parámetro	Reactor	
	Blanco	N <sub>1</sub> + Q
pH	8.58	8.32
DQO (mg/L)	326	244
Fósforo (mg/L)	0.31	0.285
Nitrógeno (mg/L)	6.49	7.06
SSTLM (g/L)	2.16	1.95
Decantación (mL/L)	800	620
IVL (mL/g)	370.37	317.95
%Reducción IVL	27.87	27.43
%Remoción DQO	33.87	53.66

Los resultados mostrados indican que el reactor al que se adicionó quitosano combinado con nutrientes presentó un porcentaje de remoción de DQO superior al de los ensayos con los compuestos aislados. Sin embargo, no existió una mejora en la sedimentación de los lodos biológicos, lo cual se evidencia al comparar el porcentaje de reducción de IVL, con el obtenido en el reactor blanco. En este sentido, pudo apreciarse que la concentración de sólidos del reactor N<sub>1</sub> + Q no aumentó significativamente cumplidas 18 horas de tiempo de residencia. Lo anterior refleja una baja reproducción de los microorganismos durante el ensayo; debido probablemente a una aireación pobre, consecuencia del taponamiento del difusor de este reactor.

## Conclusiones

La caracterización del afluente y efluente de la P.T.A.R evidenció que existe una pérdida de sólidos suspendidos por el efluente y con ello, la pérdida de nutrientes. Por otro lado, se encontró que la carga orgánica biodegradable y las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el afluente son inferiores a las requeridas por el sistema.

Se determinó que, entre los coagulantes evaluados, el sulfato de aluminio y el cloruro férrico no ejercen un efecto significativo sobre la sedimentabilidad del lodo. No obstante, el quitosano arrojó mejores resultados, logrando reducir apreciablemente el valor del IVL con una dosis óptima de tan solo 16 mg/L.

Los estudios experimentales realizados indican que al reponer las cantidades de nutrientes que se pierden por el efluente se ve favorecida la capacidad de asentamiento de los lodos biológicos, evitando emplear un exceso de reactivos que deriven en gastos innecesarios. En este sentido, al adicionar urea y ácido fosfórico de acuerdo con los SSV medidos en el efluente se genera un ahorro de estos reactivos igual a 79% y 37% respectivamente, en relación con la dosis calculada según la DBO.

## Referencias bibliográficas

- [1] Nodal, E. (2001). Procesos Biológicos Aplicados al Tratamiento de Agua Residual. *Revista Científica De Ingeniería Hidráulica Y Ambiental*, XXII(4), 52.
- [2] Martínez, S., & Rodríguez, M. (2005). *Tratamiento de aguas residuales con MATLAB*. México: Reverté.

- [3] Rivas, G. (1978). Tratamiento de Aguas Residuales (Segunda Ed.). Caracas, Venezuela: Ediciones Vega.
- [4] Carceller, J. (1998). Los fenómenos del “bulking” y “foaming” en las estaciones depuradoras de aguas residuales. *Tecnología del Agua*(179), 17-26.
- [5] Soya, M. (1998). Evaluación del Requerimiento de Nitrógeno y Fósforo en Sistemas de Tratamiento Biológico Aerobio de Aguas Residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 6, 65-75.
- [6] Herrera, L. (2014). Tratamiento Biológico de Aguas Residuales. *Conferencia de Ingeniería Ambiental*, (págs. 15-17). Maracaibo, Venezuela.
- [7] Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. México: Editorial Reverté.
- [8] Weber, W. (1979). *Control de la calidad del agua: Procesos fisicoquímicos*. España: Editorial Reverté.
- [9] Renault, F., Sancet, P., Badot, M., & Crini, G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes - An eco-friendly approach. *European Polymer Journal*, 45(5), 1337-1348.
- [10] Yang, R., Li, H., Huang, M., Yang, H., & Li, A. (2016). A review on chitosan-based flocculants and their applications in water treatment. *Water Research*, 95, 59-89.

# Calidad física de aguas residuales de una industria avícola en un sistema de flotación por aire disuelto con coagulantes

Yaxcelys Caldera<sup>1</sup>, Mayra Sánchez<sup>2</sup> y Edixon Gutiérrez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigaciones Ambientales. Núcleo Costa Oriental del Lago. Universidad del Zulia. Cabimas, Estado Zulia, Venezuela. yaxcelysc@hotmail.com

<sup>2</sup>Centro de Investigación del Agua. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. [egutierr12@gmail.com](mailto:egutierr12@gmail.com)

Recibido: 24-04-2017

Aceptado: 19-09-2017

## Resumen

Se evaluó la calidad física de las aguas residuales provenientes de una industria avícola (ARIA), después del tratamiento en un sistema de flotación por aire disuelto (DAF), con la aplicación de los coagulantes sulfato de aluminio (SA), policloruro de aluminio (PAC) y quitosano (Q). Las muestras de aguas residuales se recolectaron a la entrada de la unidad de flotación que integra el sistema de tratamiento de una industria avícola ubicada en el estado Zulia, Venezuela. Se trabajó en un sistema de DAF de 4 L en la cámara de flotación, variando las condiciones de operación de presión en 30, 40 y 50 psi y de recirculación del efluente en 30% y 40%, trabajando con y sin la adición de los coagulantes. Se determinaron los parámetros turbidez, color y sólidos suspendidos totales (SST) antes y después del tratamiento. Los resultados demostraron que el sistema de DAF con coagulantes remueve entre 84,0% y 95,2% de turbidez; 82,7% y 95,5% de color y 50,7% y 85,7% de SST. La flotación por aire disuelto con la adición de coagulantes es una alternativa de tratamiento primario para mejorar la calidad física de las aguas residuales de la industria avícola.

**Palabras clave:** DAF, flotación, coagulantes, aguas residuales, industria avícola.

## Physical quality of wastewater from a poultry industry in a system dissolved air flotation with coagulants

### Abstract

The physical quality of poultry industry wastewater (PIW) was evaluated after the treatment in a dissolved air flotation system (DAF), with the application of coagulants aluminum sulphate (AS), aluminum polychloride (PAC) and chitosan (C). The wastewater samples were collected at the entrance of the flotation unit that integrates the treatment system of a poultry industry located in Zulia state, Venezuela. A DAF system of 4 L was used in the flotation chamber, varying the pressure operating conditions at 30, 40 and 50 psi and the effluent recirculation at 30% and 40%, working with and without the addition of the coagulants. The parameters turbidity, color and total suspended solids (TSS) were determined before and after treatment. The results showed that the DAF system with coagulants removes between 84.0% and 95.2% of turbidity; 82.7% and 95.5% of color and 50.7% and 85.7% of TSS. Dissolved air flotation with the addition of coagulants is an alternative primary treatment to improve the physical quality of the wastewater of the poultry industry.

**Keywords:** DAF, flotation, coagulant, wastewater, poultry industry.

## Introducción

Las características de las aguas residuales industriales dependen del tipo de industria y de los contaminantes presentes, por esta razón cada sector produce su propia combinación de contaminantes y dependiendo de la composición física, química y biológica de las aguas residuales generadas, causarán un enorme impacto negativo al ambiente, con la capacidad de destruir muchos hábitats de animales y causar irreparables daños a diversos ecosistemas [1].

Entre las industrias consumidoras de agua y generadoras de aguas residuales se encuentran las avícolas [2]. La calidad física de las aguas residuales proveniente de la matanza de aves se ve afectada por la alta carga orgánica que presentan, constituida por sangre y otros materiales orgánicos que causan el color y la mayor parte de la turbidez, también contienen elevadas concentraciones de sólidos suspendidos [3]. Entre sus características químicas se destacan altos niveles de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), aceites y grasas (A y G), fósforo y nitrógeno [4, 5, 6, 7, 8]. Estas aguas son altamente contaminantes, pueden agotar el oxígeno disuelto de un cuerpo de agua receptor, causar destrucción de la fauna, producir olores desagradables y facilitar el desarrollo y la propagación de enfermedades [9].

Los procesos de tratamiento de aguas residuales están diseñados para lograr mejoras en la calidad de las aguas residuales. Tee et al. [1] refieren que el tratamiento híbrido de aguas residuales ha ganado mucha atención en los últimos años, puesto que permite la combinación de dos o más procesos unitarios biológicos y químicos y operaciones físicas de tratamiento para la eliminación más eficaz de los contaminantes de las aguas residuales, entre los cuatro sistemas híbridos disponibles se encuentra el físico-químico, de esta manera, la combinación de los métodos de flotación y coagulación representa una alternativa para mejorar la calidad de las aguas residuales provenientes de la industria avícola, ARIA [10, 11].

Entre los tipos de flotación se destaca la flotación por aire disuelto (DAF, por sus siglas en inglés), la cual ha mostrado una elevada eficiencia. Se basa en el principio de la solubilidad del aire en el agua sometida a presión, consiste fundamentalmente en someter el agua a tratar a presión durante cierto tiempo en un recipiente, introduciendo simultáneamente aire comprimido y agitando el conjunto por diversos medios, hasta lograr la dilución del aire en el agua. Posteriormente, se despresuriza el agua en condiciones adecuadas, desprendiéndose gran cantidad de micro burbujas de aire, estas se adhieren a los sólidos en cantidad suficiente para que su fuerza ascensional supere el reducido peso de los mismos, elevándolos a la superficie de donde son retirados continua o periódicamente, por distintos medios mecánicos [12].

Los sistemas de DAF se han utilizado para remover materia orgánica, A y G, sólidos, turbidez y nutrientes presentes en aguas residuales domésticas e industriales, con resultados satisfactorios. Estos sistemas han precedido sistemas biológicos con la finalidad de reducir la carga aplicada a reactores biológicos y también han ocupado el tratamiento final para mejorar la calidad de las aguas y cumplir con los valores exigidos en la normativa.

Del Nery et al. [4] presentaron la secuencia DAF-UASB (reactor de manto de lodo de flujo ascendente)-laguna facultativa aireada-DAF con coagulante, como tratamiento para eliminar materia orgánica y nutrientes de ARIA, concluyendo que la tecnología es adecuada puesto que logra disminuir los parámetros fisicoquímicos a valores menores a los exigidos en la normativa para descargar el efluente a cuerpos receptores. Mientras que Herrera et al. [13] proponen la secuencia de procesos de tratamiento coagulación-DAF-filtración para aguas residuales domésticas provenientes de una laguna de estabilización, obteniendo agua de adecuada calidad, constituyendo así una alternativa de pulimento eficaz para la reutilización del agua residual tratada como insumo en determinados procesos industriales, tales como agua de enfriamiento, agua de servicios y agua contra incendio, entre otros.

Por lo anteriormente planteado, el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad física de las aguas residuales provenientes de una industria avícola (ARIA), después del tratamiento en un sistema de

flotación por aire disuelto (DAF), con la aplicación de los coagulantes sulfato de aluminio (SA), policloruro de aluminio (PAC) y quitosano (Q).

## **Metodología**

### **Toma de muestras**

Las muestras de agua residual se recolectaron quincenalmente, durante seis meses de evaluación, en la entrada de una unidad de flotación por aire disperso que integra el sistema de tratamiento de una industria avícola ubicada en el estado Zulia, Venezuela. Las unidades del sistema de tratamiento son: tamiz rotatorio, unidad de flotación de A y G, lodos activados (reactor biológico y sedimentador secundario) y cámara de cloración. Mientras que las unidades para el manejo de lodo son: digestor aerobio, espesador y lechos de secado. Además, antes de entrar al sistema de tratamiento, se separan o recuperan las plumas, sangre y vísceras de las ARIA [9].

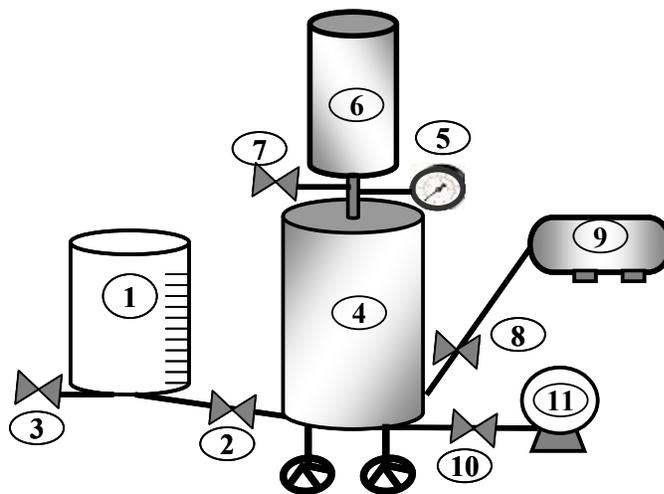
Las aguas residuales provenientes de la industria avícola presentaron las siguientes características fisicoquímicas; DQO:  $3590 \pm 524,5$  mg/L; turbidez:  $1100 \pm 285,6$  UNT, color:  $5870 \pm 734,7$  UC Pt-Co; A y G:  $476 \pm 95,2$  mg/L; pH:  $6,7 \pm 0,2$  unidades; SST:  $568 \pm 112,2$  mg/L; SSV:  $478 \pm 102,7$  mg/L; N:  $122 \pm 35,6$  mg/L y P:  $15 \pm 2,8$  mg/L.

### **Equipo experimental**

En esta investigación se utilizó un equipo de DAF (Figura 1) que tiene una cámara de flotación (1) con capacidad para 4 L, de fondo perforado para distribuir uniformemente el reciclo y aumentar el contacto gas-líquido, una válvula que regula la entrada del agua presurizada (2), y una válvula de salida (3) para la muestra tratada. Este equipo también tiene un tanque de presurización de acero inoxidable con capacidad de 2 L (4), con un manómetro en la parte superior (5) para verificar la presión interna, un recipiente de llenado para introducir el reciclo (6) y una válvula (7) que permite la entrada del reciclo. En la parte inferior tiene dos válvulas, la primera (8) permite el paso del aire proveniente del compresor de aire (9), y la segunda (10) libera el líquido presurizado; esta misma válvula es usada para la succión del aire del tanque a través de una bomba de succión (11), tiene además conexiones flexibles con acoples de rápida instalación y desinstalación.

### **Coagulantes**

Los coagulantes utilizados en esta investigación fueron: sulfato de aluminio (SA), policloruro de aluminio (PAC) y quitosano comercial (Q). Después de pruebas preliminares se seleccionaron las dosis óptimas de los coagulantes, resultando 280, 240 y 220 mg/L para SA, PAC, y Q, respectivamente.



**Figura 1. Equipo de flotación por aire disuelto (DAF) utilizado en esta investigación**

### Procedimiento

Las pruebas en el sistema de DAF se iniciaron haciendo succión en el tanque hasta obtener el vacío, luego se agregó el agua residual variando el porcentaje de recirculación del efluente en 30 % y 40 % y se sometió a la presión deseada de 207 kPa (30 psi), 276 kPa (40 psi) y 345 kPa (50 psi). Posteriormente, se conectó la cámara y se descargó la muestra ya presurizada. Se dejó en reposo por 10 minutos, para llevar a cabo el proceso de flotación. Finalmente, se tomaron las muestras requeridas para determinar los parámetros turbidez, color y SST antes y después del tratamiento en el sistema de DAF, según métodos estándar [14].

El procedimiento fue similar cuando se agregó el coagulante, se trabajó con una mezcla rápida por 1 min y luego una mezcla lenta por 10 minutos y la dosis óptima del coagulante (SA, PAC o Q).

La evaluación de las condiciones se realizó por triplicado. También se determinó la correlación a nivel de significancia entre los parámetros, empleando el programa estadístico comercial STATGRAPHICS Centurion XVI.

### Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestra la variación de los porcentajes de remoción de turbidez en el sistema de DAF, para las diferentes condiciones de evaluación (30% y 40% de recirculación y presiones de 30, 40 y 50 psi), sin coagulante (Figura 2a) y con la adición de los coagulantes SA (Figura 2b), PAC (Figura 2c) y Q (Figura 2d). Se observa en la Figura 2a que la remoción de turbidez no superó el 40% cuando se trabajó sin la adición de coagulantes, presentando las mayores remociones a la condición de 30% y 30 psi (38%).

Sin embargo, la adición de los coagulantes SA, PAC y Q favoreció la remoción de turbidez, aumentando la remoción a valores entre 84,0% y 95,2% (Tabla 1). Las mayores remociones para las condiciones de presión y recirculación evaluadas se alcanzaron con el coagulante SA (92,1% a 95,2%). No se observaron cambios importantes en la remoción de turbidez cuando se variaron las condiciones de trabajo (presión y recirculación).

La remoción del color presente en las ARIA durante su tratamiento en el sistema de DAF, se muestra en la Figura 3. El rango de remoción fue bajo y osciló entre 2,3% y 30,1% cuando se evaluaron las condiciones de operación sin la adición de coagulantes (Figura 3a). Sin embargo, la remoción de turbidez superó

el 80 % cuando se agregaron coagulantes, obteniendo remociones en un rango de 82,7% a 95,5% a las diferentes condiciones evaluadas (Tabla 1).

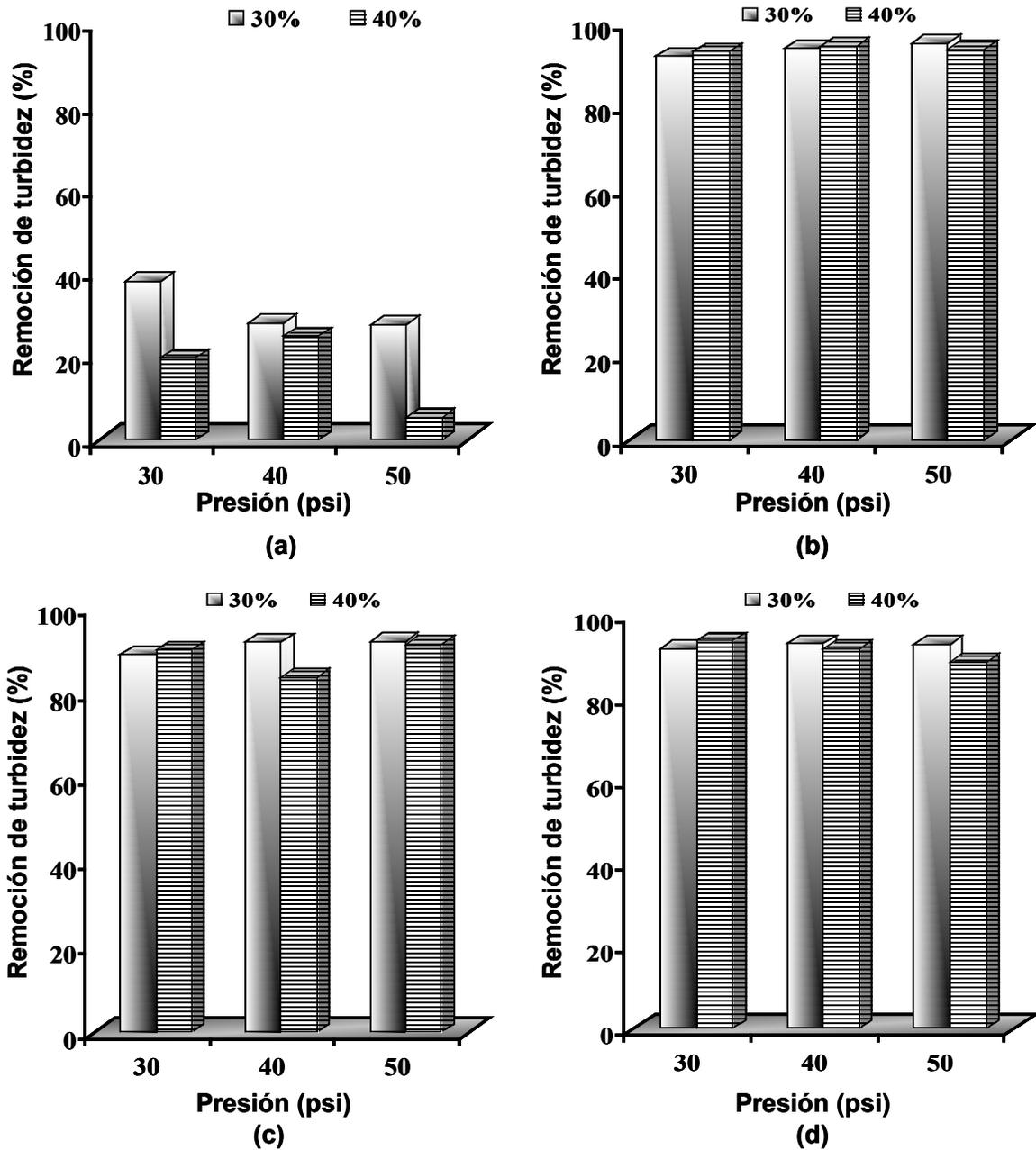


Figura 2. Remoción de turbidez en el sistema de DAF a diferentes condiciones de presión y recirculación. (a) Sin coagulante. (b) Sulfato de aluminio, SA. (c) Policloruro de aluminio, PAC. (d) Quitosano, Q

**Tabla 1. Rango de remociones de turbidez, color y sólidos suspendidos totales (SST) en el sistema de DAF después del tratamiento con los coagulantes sulfato de aluminio(SA), policloruro de aluminio (PAC) y quitosano (Q), a diferentes condiciones de presión y recirculación**

Coagulante	Remoción (%)		
	Turbidez	Color	SST
SA	92,1 - 95,2	91,3 - 95,5	68,5 - 85,7
PAC	84,0 - 92,5	82,7 - 91,9	50,7 - 79,3
Q	89,0 - 94,3	88,2 - 92,2	73,2 - 82,4

En el caso de los sólidos, el sistema de DAF sin coagulante removió entre 7% y 43,5% de los SST presentes en las ARIA, con porcentajes más altos para la recirculación del 30% a las diferentes presiones evaluadas (Figura 4a). Después de agregar los coagulantes se observó un incremento en la remoción, alcanzando un rango entre 50,7% y 85,7% (Tabla 1) para las diferentes condiciones de presión y recirculación (Figuras 4b, 4c y 4d). De los tres coagulantes evaluados, el PAC mostró menor eficiencia para remover SST (50,7% - 63,4%) en el sistema de DAF a 40% de recirculación.

La adición de los coagulantes SA, PAC y Q a las ARIA en el sistema de DAF incrementó la eficiencia de remoción de turbidez, color y SST. Cuando se trabajó con los diferentes coagulantes, la variación en las condiciones de presión y recirculación no causó cambios importantes en la remoción de los parámetros evaluados, observándose menor rango de remoción con el coagulante PAC. Caso contrario ocurrió en el sistema DAF sin coagulante, donde se observó mayor eficiencia en la remoción de turbidez, color y SST cuando se trabajó con la menor recirculación (30%).

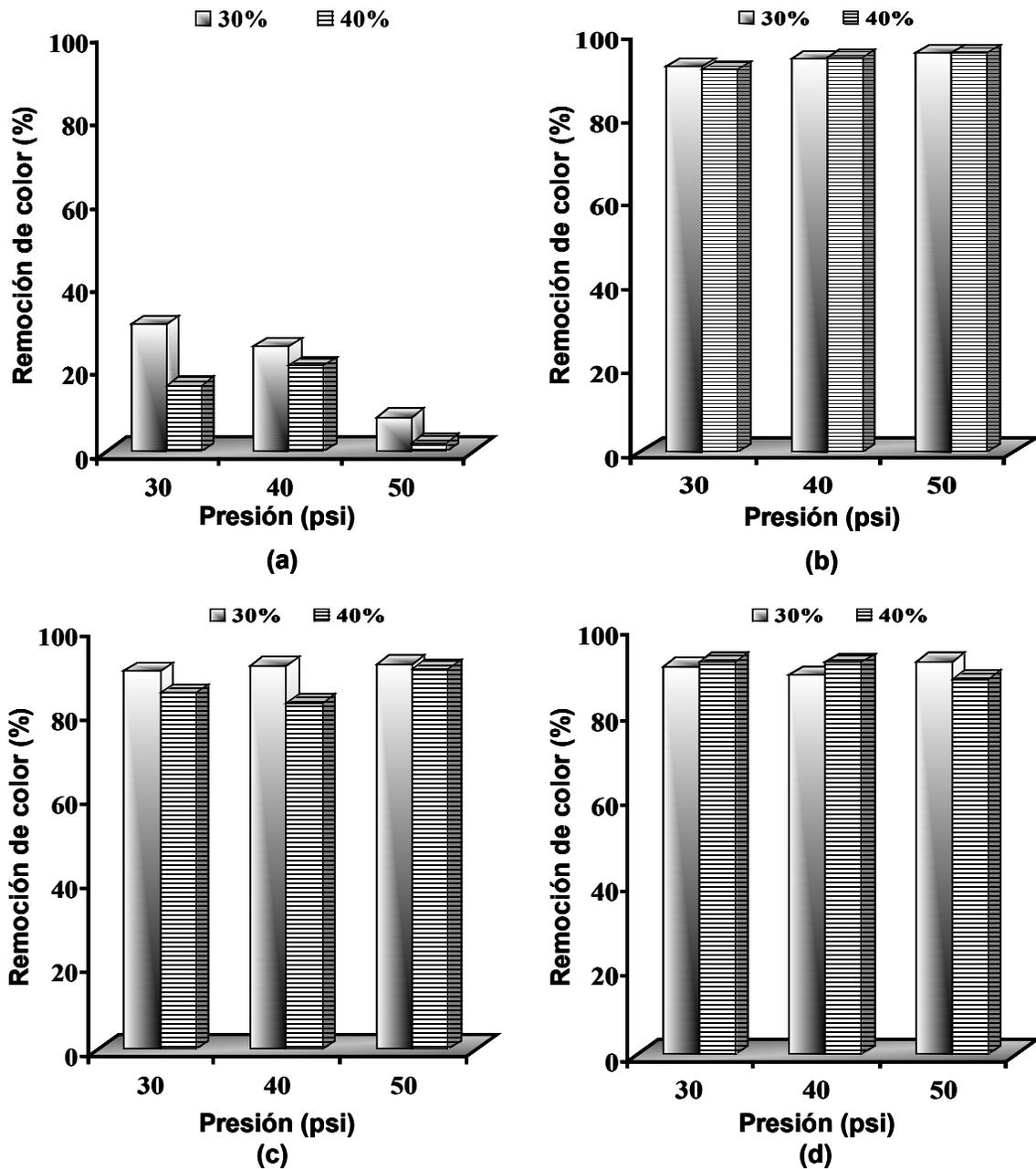
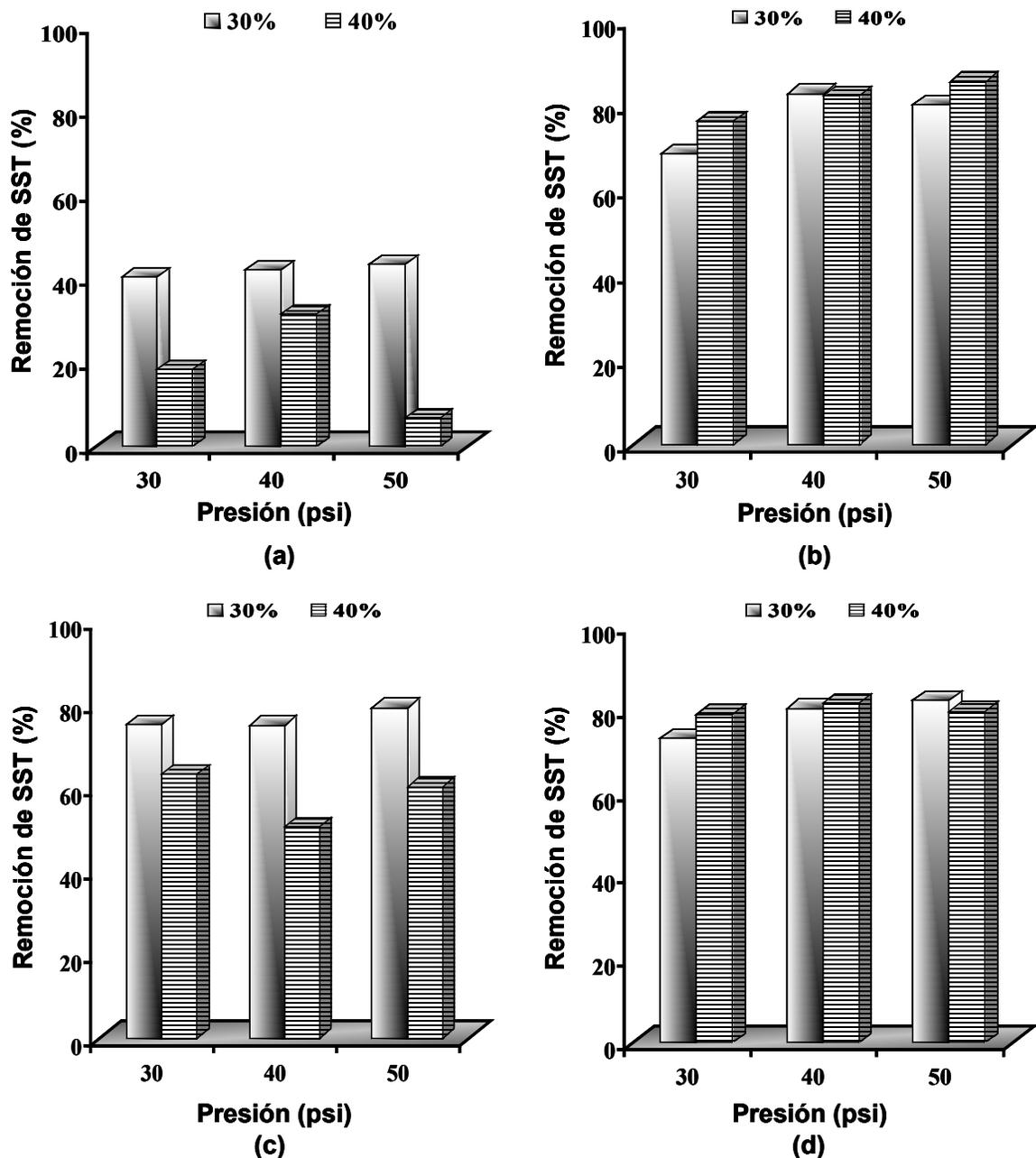


Figura 3. Remoción de color en el sistema de DAF a diferentes condiciones de presión y recirculación. (a) Sin coagulante. (b) Sulfato de aluminio, SA. (c) Policloruro de aluminio, PAC. (d) Quitosano, Q



**Figura 4. Remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en el sistema de DAF a diferentes condiciones de presión y recirculación. (a) Sin coagulante. (b) Sulfato de aluminio, SA. (c) Policloruro de aluminio, PAC. (d) Quitosano, Q**

En este sentido, será un análisis de costos, el que permita seleccionar las mejores condiciones de operación para el tratamiento de las ARIA, en función de las necesidades de la industria avícola del Zulia, considerando aspectos económicos, energéticos y de espacio como la disponibilidad y costo de los coagulantes, el consumo de energía y el tamaño de los equipos.

La calidad física de las ARIA mejoró después del tratamiento con los coagulantes en el sistema de DAF, presentando una disminución en los valores de los parámetros turbidez, color y SST, obteniéndose rangos para las diferentes condiciones de operación de 52,8 - 176 UNT; 264,15 - 1015,51 UC Pt-Co y 81,22

- 280 mg/L, respectivamente. Estos resultados indican que la flotación por aire disuelto con la adición de coagulantes es una alternativa de tratamiento primario para mejorar la calidad física de las aguas residuales de la industria avícola.

Otros investigadores han mostrado resultados satisfactorios durante el tratamiento de aguas residuales en sistemas de DAF. Nardi *et al.* [15] presentaron resultados similares a los obtenidos en esta investigación, durante el tratamiento de ARIA en sistema de DAF con PAC. Reportan remociones de SS de 74% a condiciones de 65,3 psi y 40% de recirculación.

Por su parte, El-Gohary *et al.* [16], quienes emplearon una dosis de SA mayor (700 mg/L) en un sistema de DAF, durante el tratamiento de aguas residuales provenientes de fabricación de productos para el cuidado personal, obtuvieron remociones mayores de SST (88,7%) a las encontradas en esta investigación, resultados que podrían relacionarse con la mayor dosis aplicada y la menor carga que presentan las aguas que evaluaron.

Nardi *et al.* [2] durante el tratamiento del tratamiento de ARIA en un sistema de DAF con coagulante (cloruro férrico y un polímero) a 65,3 psi y recirculaciones entre 10% y 50%, obtuvieron remociones del 65% de SST y 93% de turbidez. Mientras que Sena *et al.* [3], lograron remover 75,5% de los sólidos y 88,4% de la turbidez presentes en un efluente avícola durante el tratamiento en un DAF agregando sulfato férrico a condiciones de recirculación del 20% y 58 psi. En cuanto a la comparación con las investigaciones realizadas por otros autores, se evidencia que la aplicación de coagulantes a diferentes dosis y variando las condiciones de operación (presión y recirculación) en los sistemas de DAF, mejorara la calidad física de las aguas residuales.

## Conclusiones

El sistema de flotación por aire disuelto (DAF) con la adición de los coagulantes sulfato de aluminio, policloruro de aluminio y quitosano resultó eficiente para mejorar la calidad física de las aguas residuales de la industria avícola, logrando remover turbidez (84,0% - 95,2%), color (82,7% - 95,5%) y SST (50,7% - 85,7%), a diferentes condiciones de presión y recirculación.

Debido a la eficiencia de los tres coagulantes para disminuir los valores de los parámetros físicos, un análisis de costos permitirá seleccionar las mejores condiciones de operación y el coagulante para el tratamiento de las ARIA, en función de las necesidades de la industria avícola del Zulia.

## Referencias bibliográficas

[1] Tee P., Abdullah M., Tan I., Rashid N., Amin M., Nolasco-Hipolito C. y Bujang K. Review on hybrid energy systems for wastewater treatment and bio-energy production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 54, No. 2, (2016), 235-246.

[2] Nardi I., Del Nery V., Amorim A., Dos Santos N. y Chimenes F. Performances of SBR, chemical-DAF and UV disinfection for poultry slaughterhouse wastewater reclamation. *Desalination*, Vol. 269, (2011), 184-189.

[3] Sena R., Tambosi J., Genena A., Moreira R., Schröder H. y José H. Treatment of meat industry wastewater using dissolved air flotation and advanced oxidation processes monitored by GC-MS and LC-MS. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 152, No. 1, (2009), 151-157.

[4] Del Nery V., Damianovic M., Moura R., Pozzi E., Pires E. y Foresti E. Poultry slaughterhouse wastewater treatment plant for high quality effluent. *Water Science & Technology*, Vol. 73, No. 2, (2016), 309-316.

- [5] Barana A., Lopes D., Martins T. Pozzi E., Damianovic M., Del Nery V. y Foresti E. Nitrogen and organic matter removal in an intermittently aerated fixed-bed reactor for post-treatment of anaerobic effluent from a slaughterhouse wastewater treatment plant. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 1, (2013), 453-459.
- [6] Al-Mutairi N., Al-Sharifi F. y Al-Shammari S. Evaluation study of a slaughterhouse wastewater treatment plant including contact-assisted activated sludge and DAF. *Desalination*, Vol. 225, (2008), 167-175.
- [7] Sena R., Moreira R. y José H. Comparison of coagulants and coagulation aids for treatment of meat processing wastewater by column flotation. *Bioresource Technology*, Vol. 99, No. 17, (2008), 8221-8225.
- [8] Rahman U., Sahar A. y Khan M. Recovery and utilization of effluents from meat processing industries. *FoodResearch International*, Vol. 65, No. C, (2014), 322-328.
- [9] Caldera Y., Gutiérrez E., Luengo M., Chávez J. y Ruesga L. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de industria avícola. *Revista Científica FCV-LUZ*, Vol. XX, No. 4, (2010), 409-416.
- [10] Dassey A. y Theegala C. Evaluating coagulation pretreatment on poultry processing wastewater for dissolved air flotation. *Journal of Environmental Science and Health*, Vol. 47, No. 13, (2012), 2069-2076.
- [11] Miranda R., Nicu R., Latour I., Lupei M., Bobu E. y Blanco A. Efficiency of chitosans for the treatment of papermaking process water by dissolved air flotation. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 231, (2013), 304-313.
- [12] Edzwald J. Dissolved air flotation and me. *Water Research*, Vol. 44, (2010), 2077-2106.
- [13] Herrera L., Flores P., Mejías P., Vargas L., Cárdenas C., Araujo I., Del Villar N. y Delgado J. Tratamiento de aguas residuales domésticas para su potencial reutilización industrial. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, Vol. 48, No. 2, (2014), 101-114.
- [14] APHA, AWWA, WCF. Standard methods for examination of water and wastewater. 18th Ed. Washington DC, USA. (1998).
- [15] Nardi I., Fuzi T. y Del Nery V. Performance evaluation and operating strategies of dissolved-air flotation system treating poultry slaughterhouse wastewater. [Resources, Conservation and Recycling](#), Vol. 52, No. 3, (2008), 533-544.
- [16] El-Gohary F., Tawfik A. y Mahmoud U. Comparative study between chemical coagulation/precipitation (C/P) versus coagulation/dissolved air flotation (C/DAF) for pre-treatment of personal care products (PCPs) wastewater. *Desalination*, Vol. 252, (2010), 106-112.

# Valoración económica como edificio histórico patrimonial a la antigua sede rectoral de la Universidad del Zulia

Carlos Sandoval<sup>1</sup> y Yogry Castillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doctorado en Ingeniería Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo Estado Zulia, Venezuela Email: [sandovalc@hotmail.com](mailto:sandovalc@hotmail.com)

<sup>2</sup>Departamento de Geoinformática Facultad de Ingeniería Nucleo Maracaibo Universidad del Zulia (LUZ). Maracaibo Estado Zulia, Venezuela Email: [yogrycastillo@gmail.com](mailto:yogrycastillo@gmail.com)

Recibido: 12-09-2017

Aceptado: 07-11-2017

## Resumen

En este artículo se presenta la valoración como edificio histórico patrimonial a la antigua sede rectoral de la Universidad del Zulia. Cabe mencionar que la Ciudad Universitaria de nuestra ilustre Universidad del Zulia fue declarada patrimonio histórico cultural el 01 de Octubre de 2001 según decreto 072 de la Alcaldía del Municipio Maracaibo. La valoración económica se realizó utilizando el método de valoración contingente con el cual se determinó la disposición a pagar (DAP) para el mantenimiento anual de esta edificación, el modelo se ajustó para una DAP de aproximadamente 2 U.T. lo que equivale a 600 Bs./año.

**Palabras Clave:** Valoración económica, edificio patrimonial, antigua sede rectoral.

## Economic valuation as a historical patrimonial building to the former rectory headquarters of the University of Zulia

### Abstract

This article presents the valuation as historical heritage building to the former rectory headquarters of the University of Zulia. It is worth mentioning that the University City of our illustrious University of Zulia was declared a cultural historical heritage on October 01, 2001 according to decree 072 of the Mayor's Office of the Maracaibo Municipality. The economic valuation was done using the contingent valuation method with which the willingness to pay (DAP) was determined for the annual maintenance of this building, the model was adjusted for a DAP of approximately 2 U.T. equivalent to 600 Bs / year.

**Keywords:** Economic valuation, patrimonial building, former rectory headquarters.

## Introducción

El patrimonio cultural e histórico representa la herencia de todo pueblo y sociedad, el cual debe transmitirse de una generación a otra Almirón et al. [1], así mismo constituye un verdadero motor económico de una nación, ya que los patrimonios históricos constituyen un lugar privilegiado en los paquetes de compras turísticos Prats [18]. Ahora bien, para mantener “viva” nuestra historia también se hace necesario

mantener “vivo” nuestro patrimonio histórico, en tal sentido para lograr este objetivo se hace necesario conservar y proteger los bienes patrimoniales Peñalba [17], esto implica realizar inversiones con la finalidad de darle mantenimiento a éstos activos Saladino [20].

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela de 1999 [7], reafirma este compromiso al declarar, en su artículo 99 Leal [14], que “el Estado garantizará la protección y preservación y restauración del patrimonio cultural, tangible e intangible y la memoria histórica de la Nación”. Es importante destacar que la Ciudad Universitaria conjuntamente con el Edificio “La Ciega” de nuestra ilustre Universidad del Zulia fue declarada patrimonio histórico cultural el 01 de Octubre de 2001 según Decreto No. 072 de la Alcaldía del Municipio Maracaibo [8], por lo que de acuerdo a una obligación constitucional la misma debe restaurarse, protegerse y preservarse.

Ahora bien, uno de los grandes problemas en la valoración económica del patrimonio histórico cultural es que no siempre existen mercados que expresen dicha valoración en forma de precios reales, y se tenga que acudir a mercados indirectos o a la construcción de mercados hipotéticos para estimar el valor implícito que tiene el bien patrimonial Herrero [12]. En éste caso de estudio la edificación fue valorada por el Método de Valoración Contingente el cual se basa en crear un mercado hipotético de bienes intangibles (No Mercado), para obtener mediante una encuesta, la máxima Disposición a Pagar (DAP) en valor monetario. En tal sentido, en esta investigación se determinó la disposición a pagar (DAP) para el mantenimiento anual de la antigua sede rectoral de la Universidad del Zulia.

## **Fundamentos Teóricos**

### **La Universidad del Zulia (LUZ): Patrimonio histórico cultural**

La Universidad del Zulia, es el alma mater en la región zuliana institución icono por excelencia educativa siendo una de las principales universidades del país, abre sus puertas en el año 1891, en tal sentido y por todo lo que LUZ representa, el 1° de octubre de dos mil uno fue promulgado el decreto municipal número 072 dictado por la alcaldía del municipio Maracaibo, el cual declara la ciudad universitaria como patrimonio cultural de la región, por ser muestra tangible del pasado y presente de nuestra región.

### **Edificio de la antigua sede rectoral**

La construcción de esta edificación data desde el año 1954 para servir como residencia estudiantil universitaria, para el año 1959 fueron cerradas estas residencias estudiantiles por lo que la edificación permanece cerrada por un período de tiempo, y aproximadamente dos años después empieza a funcionar como rectorado. En cuanto a su descripción formal es un edificio de planta rectangular, ubicado en un estilo arquitectónico moderno, no es una edificación diseñada para las funciones que se realizan actualmente pero se adapta perfectamente a ello. Es un edificio de oficinas de dos plantas, de techos planos con un volado en su fachada principal indicando el acceso a la edificación la cual se encuentra rodeada de estacionamientos y áreas verdes.

### **Valoración económica del patrimonio histórico**

Los bienes del patrimonio histórico son en su mayoría bienes públicos, pues cumplen con las características genéricas de no rivalidad y no exclusividad, y por lo tanto, sea difícil su provisión óptima en una economía de mercado. A ello se unen las particularidades del patrimonio histórico como bien intangible, asociado a su valor estético, simbólico o de representación colectiva, y que generan una serie de efectos externos positivos difícilmente comercializables Herrero [12]. En definitiva, los bienes integrantes del patrimonio histórico suelen ser mercancías de no mercado, en el sentido de que rara vez existe un proceso bien definido de compra-venta, donde los consumidores muestren de forma auténtica sus preferencias y el precio revele convenientemente el grado de costo y el grado de adquisición del artículo.

La valoración de este tipo de bienes requiere, por lo tanto, técnicas específicas en las que se tengan en cuenta todas estas características y la estimación del valor económico, que en la mayoría de los casos se realiza empleando el concepto de Disposición a Pagar (DAP), que representa la cantidad de dinero que un consumidor pagaría para incrementar su nivel de bienestar o impedir una pérdida del mismo en relación con el consumo del patrimonio histórico. La obtención de la DAP se puede realizar utilizando diversos métodos, uno de los más usados es el método de valoración contingente.

### Método de valoración contingente

Consiste en crear un mercado hipotético de bienes intangibles (No Mercado), para obtener mediante una encuesta la máxima Disposición a Pagar (DAP) en valor monetario, valor este que el entrevistado otorga al bien que se pretende valorar. El método de valoración contingente (MVC) es en la actualidad el más difundido para medir el bienestar en casos de inexistencia de mercado, porque permite efectuar un análisis previo, de vital importancia, en ámbitos como el medio ambiente, la sanidad o el patrimonio histórico Gómez y Guerrero [10].

Una vez que se recolecta la información por medio de la encuesta, se realiza un análisis de regresión múltiple para establecer un modelo matemático correspondiente con el tipo de bienes que se está valorando.

### Métodos usados en la valoración de bienes intangibles (No Mercado)

Se realizó una revisión bibliográfica de bienes intangibles valorados por varios métodos, así mismo; se caracterizaron los tipos de bienes valorados, estos bienes fueron agrupados tal como se muestra:

- Servicios públicos: acueductos, acuíferos.
- Sitios ambientales: sitios para disfrute tales como: playas, ríos, bosques, entre otros.
- Sitios históricos: museos, palacios, edificios.
- Mejoras ambientales: investigaciones basadas en la mejora de estos sitios.
- Bienes inmuebles: viviendas, hoteles, entre otros.

En las figura 1 se visualizan los métodos de valoración usados para valorar bienes intangibles y en la figura 2 se explican el tipo de bienes intangibles valorados por el método de valoración contingente.

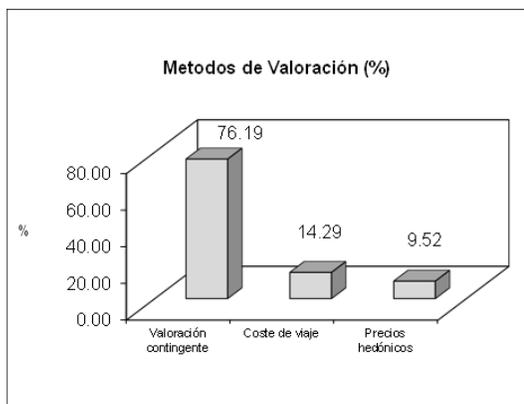


Figura 1. Métodos de valoración

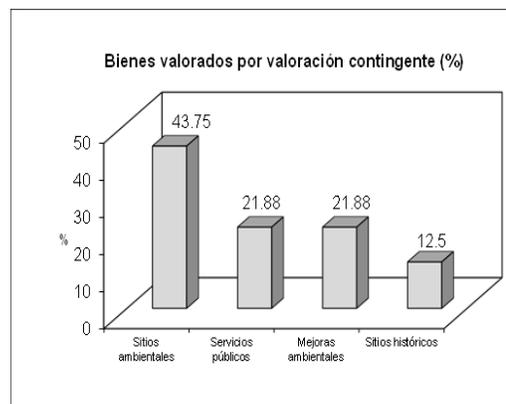


Figura 2. Bienes valorados por el (MVC)

Tal como puede observarse más del 76% de los bienes intangibles valorados de acuerdo a la revisión bibliográfica, se valoró utilizando el método de valoración contingente y aproximadamente el 13% de esos bienes corresponde a sitios históricos, los cuales contemplan museos, edificaciones, entre otras. Cabe mencionar que en esta investigación se valoró una edificación histórica patrimonial correspondiente al edificio de la antigua sede rectoral. En definitiva, el método de valoración contingente es pertinente para

la valoración económica de los bienes inmuebles de carácter histórico patrimonial, tal como se evidencia en el análisis anterior.

### **Regresión lineal múltiple**

El procedimiento de regresión lineal permite utilizar más de una variable independiente y por lo tanto permite llevar a cabo un análisis de regresión múltiple, la ecuación de regresión ya no define una recta en el plano, sino un hiperplano en un espacio multidimensional, en la práctica la ecuación del modelo de regresión lineal es la que se muestra.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

De acuerdo con este modelo la variable dependiente ( $Y$ ) se interpreta como una combinación lineal de un conjunto de  $K$  variables independientes ( $X_k$ ), cada una de las cuales va acompañada de un coeficiente ( $\beta_k$ ), que indica el peso relativo de esa variable. La ecuación incluye además una constante ( $\beta_0$ ) y un componente aleatorio (los residuos:  $\varepsilon$ ) que recoge todo lo que las variables independientes no son capaces de explicar. Por lo tanto una vez que se aplica el método de valoración contingente, y con el modelo anterior se obtiene la función de demanda del mercado simulado mediante el cálculo de la DAP, por lo tanto, el modelo quedaría como se plasma en la siguiente ecuación:

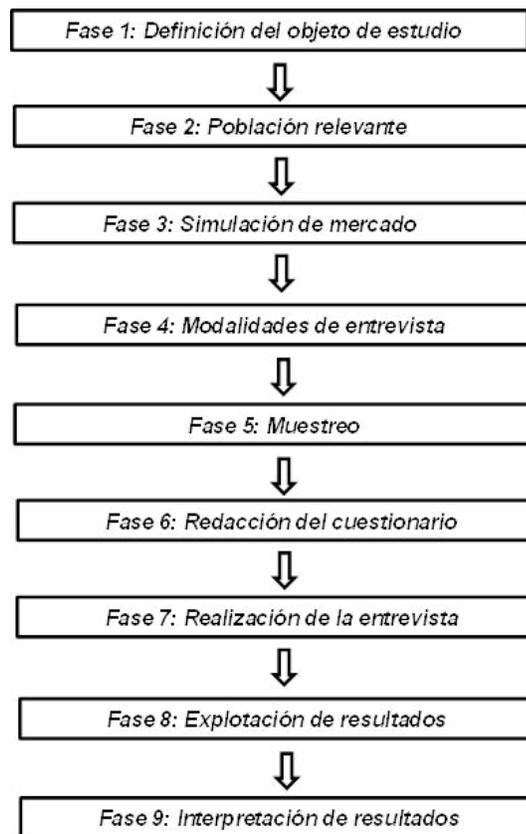
$$DAP = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

La variable dependiente es ( $DAP$ ) se obtiene con la combinación lineal de un conjunto de  $K$  variables independientes ( $X_k$ ) que pueden ser: sexo, estado civil, nivel de ingresos, nivel de educación, conocimiento del sitio, entre otros, cada una de las cuales va acompañada de un coeficiente ( $\beta_k$ ), que indica el peso relativo de esa variable en la ecuación. La ecuación incluye además una constante ( $\beta_0$ ) que recoge todo lo que las variables independientes no son capaces de explicar.

## **Materiales y métodos**

### **Metodología de la valoración contingente**

La metodología de valoración contingente está estructurada por nueve fases. Riera [19], están pueden verse en la figura 3.



**Figura 3. Fases de la valoración contingente**

- 1.- El objeto de estudio es el edificio del antiguo rectorado de LUZ.
- 2.- La población relevante fueron los usuarios y potenciales usuarios.
- 3.- La simulación del mercado plantea una serie de datos a concretar, pero realmente lo que se busca es la DAP (Disposición a pagar) para el mantenimiento anual de esta edificación.
- 4.- Se utilizó como modalidad de entrevista, la entrevista personal.
- 5.- El tamaño de la muestra se calculó de acuerdo a la ecuación mostrada por López et al. [15].

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra

N: Población total, se tomará la población del Municipio Maracaibo (Censo 2011) [6].

Z: valor correspondiente al “Z” de una distribución normal de acuerdo al intervalo de confianza, el cual será de 95%, por lo tanto Z=1.96.

p: proporción esperada, se tomará un valor de 0.05 López et al. [15].

q: 1-p.

d: precisión 5%. López et al. [15]

En la tabla 1 se visualiza la población del Estado Zulia y del Municipio Maracaibo de acuerdo al Censo 2011 del Instituto Nacional de Estadística (INE).

**Tabla 1. Población del Estado Zulia y Maracaibo 2011 (INE)**

Sitio	Población (personas)
Estado Zulia	3.704.404
Municipio Maracaibo	1.459.448

Fuente: Elaboración propia.

En tal sentido el tamaño de la muestra queda definido tal y como se muestra.

$$n = \frac{1.459.448 \times (1.96)^2 \times 0.05 \times 0.95}{(0.05)^2 \times (1.459.448 - 1) + (1.96)^2 \times 0.05 \times 0.95} = 72.99$$

Cabe mencionar que para esta investigación se utilizó un tamaño de muestra superior a 73 personas, es decir; se estableció una muestra original de 104 encuestas.

6.- La estructura de este cuestionario contiene tres partes fundamentales: descripción del bien, valoración del bien e información sobre la persona entrevistada. En esta investigación el cuestionario está estructurado de la siguiente manera: datos de la edificación, visitas al sitio, nivel de ingreso familiar, Disposición a pagar (DAP) y datos socio-económicos del entrevistado.

7.- La entrevista fue realizada netamente en campo, y la finalidad de la misma fue preguntar a cada una de las personas sobre la máxima disposición a pagar (DAP), y luego someter esta data a un análisis estadístico y de regresión lineal múltiple.

8.- La explotación de los resultados es el procesamiento estadístico aplicado a la información obtenida mediante las encuestas, para ello se utilizó un paquete estadístico con el cual se realizó el análisis de regresión lineal para la obtención del modelo matemático que permitió determinar la variable dependiente (DAP).

9.- En esta fase se mostrarán los resultados obtenidos a través del análisis estadístico y la interpretación de los mismos, ello se mostrará más adelante.

### **Modelo de regresión lineal múltiple**

Tal como se ha explicado anteriormente, el modelo de regresión a analizar quedó definido de la siguiente manera:

$$DAP = b_0 + b_1PH + b_2ZON + b_3ACC + b_4FUN + b_5MEJ + b_6FRE + b_7ACO + b_8SER + b_9SEG + b_{10}ING + b_{11}SEX + b_{12}EC + b_{13}NE + b_{14}TRA + b_{15}ED$$

Donde la variable dependiente es la (DAP). Las variables independientes son: importancia de la edificación como patrimonio histórico (PH), conocimiento de la zona donde está situado bien (ZON), facilidad de acceso al inmueble (ACC), funcionalidad del inmueble (FUN), mejoras constructivas al inmueble (MEJ), frecuencia de visita al sitio (FRE), acompañamiento al sitio (ACO), funcionamiento de los servicios (SER), seguridad personal (SEG), nivel de ingresos (ING), sexo (SEX), estado civil (EC), nivel educativo (NE) y edad (ED).

## **Análisis de Resultados**

### **Análisis de los resultados de la encuesta para el edificio de la antigua sede rectoral**

Para valorar económicamente esta edificación se diseñó un instrumento de recolección de datos con una muestra original de 104 encuestas, sin embargo se realizó una depuración de la data por medio de los diagramas de caja con el fin de eliminar los valores atípicos, quedando como muestra definitiva 75 encuestas válidas. En tal sentido se presenta el análisis de los resultados de acuerdo a la opinión expresada por los entrevistados.

Los entrevistados la dan mucha importancia a esta edificación como patrimonio histórico, ya que el 62.67% la considera “muy importante” y el 33.33% la considera “importante”, por lo que pudiera decirse que más del 95% de los encuestados le da gran importancia a esta edificación como patrimonio histórico de la nación. El 85.33% planteó que “sí” conoce la zona donde está situada el bien mientras 14.67% “no” conoce la zona donde está situada la edificación.

El 96% de los entrevistados expresó que “sí” es muy fácil el acceso al inmueble en cuestión. De igual manera El 13.33% de los entrevistados consideran esta edificación “muy funcional” y el 60% la considera “funcional”, esto significa que un poco más del 73% manifestó que la edificación es funcional desde el punto de vista arquitectónico.

Se le preguntó a los entrevistados, cuáles serían las mejoras constructivas que ellos plantearían para hacerlas en el edificio de la antigua sede rectoral y el 69.33% respondió la opción “todas las anteriores”, es decir; que deben construirse: baños, cafetín, centro de copiado, señalizaciones y garita de seguridad, sin embargo cabe mencionar que el 17.33% eligió la opción “baños”. El 49.33% de los entrevistados visita “diariamente” la edificación y el 32% la visita ocasionalmente, de igual manera el 52% de los entrevistados visita “solo” la edificación, el 25.33% con la “familia” y el 22.67% con “amigos”. El 13.33% de los entrevistados considera como “muy bien” los servicios que se prestan en esta edificación y el 53.33% los considera “bien”, esto significa que un poco más del 66% manifestó como buenos los servicios que se prestan en esta edificación y un poco menos del 34% los considera de “regular” a “mal. El 54.67% considera la seguridad “regular” y el 14.67% la considera “mala”, por lo que más del 69% de los encuestados califica la seguridad de regular a mala, y un poco más del 30% la considera de buena a muy buena.

El 81.33% tiene ingresos entre 1 y 3 salarios mínimos, el 9.33% tiene ingresos entre 4 y 6 salarios mínimos, el 5.33% entre 7 y 9 salarios mínimos y un 4% más de 9 salarios mínimos. El 57.33% de los entrevistados son del sexo masculino y el 42.67% del sexo, el 50.67% de los entrevistados son solteros, el 41.33% son casados, el 1.33% viudos y el 6.67% son divorciados. El 60% tiene formación universitaria, el 38.67% tiene educación secundaria y el 1.33% tiene educación primaria, la gran mayoría de los entrevistados, es decir; el 81.33 % tiene trabajo actualmente, mientras que el 18.97% de las personas se encuentran desempleada, el 28% tiene entre 41 y 50 años y el 21.33% entre 31 y 40 años, cabe mencionar que el 44% tiene menos de 40 años y el 56% tiene más de 40 años.

El 56% está dispuesta a pagar hasta 1 U.T. para el mantenimiento anual de esta edificación, sin embargo; un poco más del 85% está dispuesta a pagar entre 1 y 4 U.T.

### **Modelo de regresión lineal múltiple**

Para la realización del análisis de regresión lineal múltiple se utilizó un programa estadístico. Se obtuvo un valor  $R=0.60$ , siendo el valor ideal 1.00, sin embargo el valor “R” obtenido puede considerarse bastante aceptable para este tipo de valoración. Con el fin de examinar la independencia de los residuos de las variables se revisó el estadístico Durbin-Watson el cual debe estar entre 1.5 y 2.5 para que se cumpla el supuesto de independencia entre los residuos, para este caso el valor nos dio 1.77 por lo que se puede aseverar que los residuos son independientes. De igual manera, se analizó la relación lineal significativa entre la variable dependiente y la variable independiente, para ello debe verificarse el valor “P”, el cual se

define como la probabilidad mínima para el rechazo de la hipótesis nula, este valor “P” debe ser menor o igual a 0.05. Se evidencia que si existe relación lineal entre la variable dependiente DAP y las variables independientes, ya que para este caso  $P=0.016$ , el cual es menor o igual a 0.05.

El modelo de regresión múltiple quedó definido de la siguiente manera:

$$\text{DAP} = 2.271 + 0.09 \times \text{PH} + 0.04 \times \text{ZON} + 0.183 \times \text{ACC} - 0.131 \times \text{FUN} + 0.018 \times \text{MEJ} - 0.067 \times \text{FRE} - 0.106 \times \text{ACO} + 0.284 \times \text{SER} + 0.012 \times \text{SEG} + 0.019 \times \text{ING} - 0.237 \times \text{SEX} - 0.256 \times \text{EC} + 0.143 \times \text{NE} + 0.005 \times \text{TRA} - 0.207 \times \text{ED}$$

El modelo se ajusta para una media de 1.59 correspondiente a la disposición a pagar (DAP) para el mantenimiento anual de esta edificación, lo que significa que las personas están dispuestas a pagar por el mantenimiento anual de la edificación aproximadamente 2 U.T. que equivale a 600 Bs./año.

## Discusión de Resultados

La variable correspondiente a la importancia como patrimonio histórico tuvo un signo positivo lo que significa que la DAP se incrementa con esta variable, es preciso destacar que cerca del 90% los entrevistados le asignaron gran importancia a esta edificación valor este que concuerda con la investigación realizada por Soto y Soza [22]. El conocimiento de la zona tuvo un signo positivo lo que significa que la DAP se incrementa con esta variable, La funcionalidad tuvo un signo negativo lo que significa que la DAP disminuye con esta variable. Por otra parte la variable correspondiente a las mejoras constructivas tuvo un signo positivo lo que significa que la DAP se incrementa con esta variable, cabe destacar que en la investigación realizada por López et al. [15]. se obtuvo una DAP alta para el mejoramiento de la zona lo que concuerda con la respuesta obtenida en esta investigación.

En lo que corresponde a la variable visita al sitio se obtuvo un signo negativo en la ecuación lo que significa que la DAP disminuye con esta variable, cabe destacar que en la investigación realizada por Seongseop et al. [21], esta variable obtuvo signo positivo, respuesta contraria a la obtenida en esta investigación, esta respuesta se presume que es debido a que en este tipo de países le dan gran importancia al patrimonio histórico. En el caso de acompañamiento al sitio y funcionamiento de los servicios se obtuvieron signos positivos lo que significa que la DAP se incrementa con estas variables. Cabe mencionar que mientras peor evaluado sea el funcionamiento de los servicios que se prestan en esta edificación mayor será la DAP, respuesta que pareciera contradictoria pero así fue el resultado de la resolución del modelo. Es importante destacar que en la investigación realizada por Monroy et al. [16] se obtuvo una respuesta contraria a la obtenida en esta investigación relativa a la calidad del servicio, ya que de acuerdo a lo que ellos plantean si el entrevistado percibe un mal servicio menos probabilidad existe de que responda positivamente a la DAP.

La variable seguridad de la edificación obtuvo signo positivo lo que significa que la DAP se incrementa con esta variable. Cabe mencionar que mientras peor evaluada sea la seguridad mayor será la DAP. Ahora bien, de acuerdo a Flores et al. [9] se obtuvo de igual manera una respuesta contraria a la obtenida en esta investigación, también plantean que la seguridad personal es un problema clave dentro del espacio de uso recreativo.

La variable ingresos de los entrevistados obtuvo signo positivo lo que significa que la DAP se incrementa con estas variable. Así mismo, es importante que recalcar que González et al. [11], Cayo [5], Jaramillo et al. [13] y Avilés et al. [2] reportaron en sus investigaciones que las personas con mayor ingreso estuvieron dispuestas a pagar más por el bien estudiado, resultado éste que se obtuvo en esta investigación.

La variable sexo obtuvo signo negativo lo que significa que la DAP disminuye con esta variable. Así mismo, en esta investigación se reflejó que la categoría “femenino” está relacionada de manera inversa con la DAP, es decir; que si el entrevistado es mujer la DAP disminuye, este resultado fue el mismo que obtuvo

Jaramillo et al. [13] en su investigación. La variable estado civil obtuvo signo negativo lo que significa que la DAP disminuye con esta variable.

La variable nivel de educación obtuvo signo positivo y también a mayor nivel de educación mayor es la DAP. Se pudo constatar que en las investigaciones realizadas por Cayo [5], Jaramillo et al. [13], Valdivia et al. [24], Avilés et al. [2] y Belkayali et al. [4], a mayor nivel de educación mayor DAP, respuesta ésta que se obtuvo en esta investigación. La variable trabaja actualmente obtuvo signo positivo lo que significa que la DAP se incrementa con esta variable, es preciso aclarar que en la investigación realizada por Awad y Hollander [3] la variable empleo tuvo un impacto positivo en la determinación de la DAP.

La edad tuvo un signo negativo lo que significa que la DAP disminuye con esta variable, es decir, a mayor edad menor será la DAP, este resultado fue exactamente el mismo que se obtuvo en las investigaciones realizadas por Tudela et al. [23] y Monroy et al. [16].

En cuanto a la evaluación de los modelos, para esta investigación se obtuvo un valor de  $R=0.60$  y de  $R^2$  ajustado= $0.198$ , estos valores se consideran aceptables para los estudios de casos que utilizan el método de valoración contingente de acuerdo a lo expuesto por Awad y Hollander [3] cuya investigación arrojó un valor de  $R=0.157$  y de  $R^2$  ajustado= $0.139$ , así mismo; Belkayali et al. [4] obtuvo en sus dos investigaciones valores de  $R=0.355$  y de  $R^2$  ajustado= $0.117$  y  $R=0.163$  y de  $R^2$  ajustado= $0.023$ , valores estos que tienen concordancia con los obtenidos en esta investigación.

## Conclusiones

- Por medio de un instrumento de recolección de datos y una muestra definitiva de 75 encuestados se obtuvo para el Edificio del Antiguo Rectorado de LUZ la siguiente información: Cerca del 95% le da importancia como patrimonio histórico, cerca del 85% tiene conocimiento del sitio, cerca del 73% consideró funcional la edificación, cerca del 66% considera que los servicios prestados son buenos, cerca del 69% considera la seguridad personal de regular a mala, cerca del 81% tiene ingresos entre 1 y 3 salarios mínimos, el 60% tiene educación universitaria, cerca del 81% tiene empleo, el 44% tiene menos de 40 años y finalmente reflejaron una DAP para el mantenimiento anual de la edificación de aproximadamente 2 U.T. lo que equivale a 600 Bs./año.

- El modelo de regresión lineal múltiple para el edificio del antiguo rectorado quedó definido de la siguiente manera:  $DAP = 2.271 + 0.09xPH + 0.04xZON + 0.183xACC - 0.131xFUN + 0.018xMEJ - 0.067xFRE - 0.106xACO + 0.284xSER + 0.012xSEG + 0.019xING - 0.237xSEX - 0.256xEC + 0.143xNE + 0.005xTRA - 0.207xED$ . El modelo se ajusta para una media de 1.59 correspondiente a la disposición a pagar (DAP) para el mantenimiento anual de esta edificación lo que equivale aproximadamente a 2 U.T. o 600 Bs./año.

## Referencias Bibliográficas

1. Almirón, A., Bertocello, R., & Troncoso, C. Turismo, Patrimonio y Territorio. Estudios y Perspectivas en Turismo. Vol. 15, (2006), 101-124.
2. Avilés, G., Huato, L., Troyo, E., Murillo, B., García, J., & Beltrán, L. Valoración económica del servicio hidrológico del acuífero de La Paz, B.C.S.: Una valoración contingente del uso de agua municipal. Frontera Norte. Vol.17, Nro. 43, (2010), 103-128.
3. Awad, I., y Hollander, R. Applying Contingent Valuation Method to Measure the Total Economic Value of Domestic Water Services: A Case Study in Ramallah Governorate, Palestine. European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences. Vol. 20, (2010), 76.93.

4. Belkayali, N., Atan, M., Talay, L., & Akpınar, N.. Determination of economic value of Göreme Historical National Park via contingent valuation method. *Scientific Research and Essays*. Vol. 5, Nro. 9, (2010), 934-940.
5. Cayo, N. Valoración económica ambiental según la disponibilidad a pagar por el turismo rural vivencial en la Isla Taquile-Perú. *Comuni@cción: Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo*. Vol. 5, Nro. 68, (2014), 25-34.
6. Censo Nacional de Población y Vivienda 2011 correspondiente al estado Zulia. Instituto Nacional de Estadística (INE). (2014).
7. Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999).
8. Decreto municipal N° 072. Alcaldía de Maracaibo. Declaración de patrimonio ciudad universitaria y edificio La Ciega de la Universidad del Zulia. (2001).
9. Flores, R., González, M., y De los Santos, H. Valoración económica del servicio recreativo del parque Hundido de la Ciudad de México. *Región y Sociedad*. Vol. XXII, Nro. 47, (2010), 123-144.
10. Gómez, F., & Guerrero, H. Valoración económica de bienes públicos: estudio de caso del río Lerma. *Región y sociedad*. Vol. XXVII, Nro. 63, (2015), 97-126.
11. González, R., Salvador, F., & Díaz, M. La disponibilidad a pagar de las familias por mejorar el servicio de agua potable en la ciudad de Aguascalientes. *Gestión y Ambiente*. Vol. 19 Nro. 1, (2016), 63-77.
12. Herrero, L. Economía del patrimonio histórico. *Economía de la cultura*. Nro. 792 (2001), 151-168.
13. Jaramillo, J., Galindo, G., Bustamante, A., & Cervantes, J. Valoración económica del agua del Río Tlapaneco en la "Montaña de Guerrero" México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Vol. 16, Nro. 3, (2013), 363-376.
14. Leal, N. Patrimonio cultural indígena y su reconocimiento institucional. *Opción*, Vol. 24, Nro. 56, (2008), 28-43.
15. López, M., Valdivia, R., Romo, J., Sandoval, M., & Larqué, B. Valoración económica de una mina de arena. *Terra Latinoamericana*. Vol. 28, Nro. 3, (2010), 255-263.
16. Monroy, R., Valdivia, R., Sandoval, M., & Rubiños, J. Valoración económica del servicio ambiental hidrológico en una reserva de la biosfera. *Terra Latinoamericana*. Vol. 29, Nro. 3, (2011), 315-323.
17. Peñalba, J. Evolución del concepto y de la significación social del patrimonio cultural. *Arte, Individuo y Sociedad*. Vol. 17, (2005), 175-204.
18. Prats, LL. La mercantilización del patrimonio: entre la economía turística y las representaciones identitarias. *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*. Vol. 58, (2006), 72-80.
19. Riera, P. Manual de Valoración Contingente. Instituto de Estudios Forestales. Universidad de California. (1994).
20. Saladino, A. La preservación del patrimonio arqueológico en Brasil: un panorama sobre la actuación del Instituto del Patrimonio Histórico y Artístico Nacional (IPHAN). "Memorias" *Revista Digital de Historia y Arqueología desde el Caribe Colombiano de Turismo y Patrimonio Cultural*. Vol. 27, Nro. 11, (2015), 1-36.
21. Seongseop, S., Wong, K., & Cho, M. Assessing the economic value of a world heritage site and willingness-to-pay determinants: A case of Changdeok Palace. *Tourism Management*. Vol. 28, (2007), 317-322.

22.Soto, A., y Soza, S. Valoración económica del bosque nativo afectado por la introducción del castor americano en Tierra del Fuego. *Bosque*. Vol. 35, Nro. 2, (2014), 229-234.

23.Tudela, J., Martínez, M., Valdivia, R., Valdivia, R., Romo, J., Portillo, M., y Rangel, R. Valoración económica de los beneficios de un programa de recuperación y conservación en el Parque Nacional Molino de Flores, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Vol.17, Nro. 2, (2011), 231-244.

24.Valdivia, R., García, E., López, M., Hernández, J., y Rojano, A. Valoración económica por la rehabilitación del Río Axtla. S.L.P. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. . Vol. 17, Nro. 3, (2011), 333-342.



## Índice acumulado

### N° 1 Julio - Diciembre 2011

Algunas series e integrales con funciones trigonométricas

**Some series and integrals with trigonometric functions**

*Alfredo Villalobos y Glenni García*

Control mediante interconexión y asignación de amortiguamiento del sistema mecánico subactuado TORA

**Interconnection and damping assignment control of the subactuated TORA mechanical system**

*Atilio Morillo, Maribel Pérez Pirela, Miguel Ríos y Vivian Acosta*

Algunos resultados que envuelven la función hipergeométrica de Wright y el cálculo fraccional

**Some results involving fractional calculus and Wright's generalized hypergeometric function**

*Susana Salinas de Romero y Carlos Segundo Muñoz Valencia*

Eficiencia del quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de baja turbidez asociadas a la producción de petróleo

**Efficiency of chitosan as coagulant during treatment of low turbidity water associated crude oil production**

*Yaxcelys Caldera, Yim Rodríguez, Hernando Oñate, Jhosana Prato y Edixon Gutiérrez*

Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones

**Chitin and Chitosan friendly polymer. A review of their applications**

*Zulay Mármol, Gisela Páez, Marisela Rincón, Karelen Araujo, Cateryna Aiello, Cintia Chandler y Edixon Gutiérrez*

Algunos resultados sobre la función de Bessel de dos índices y un parámetro

**Some results on Bessel function of two indexes and one-parameter**

*Leda Galué y Greilyn Castillo*

Generalización fraccional de la ecuación de Schrödinger relacionada a la Mecánica Cuántica

**Fractional generalization of Schrödinger equation related to Quantum Mechanics**

*Shyam Kalla, Ram Kishore Saxena y Ravi Saxena*

## N° 2 Enero - Junio 2012

Diseño de un equipo de desinfección por luz ultravioleta para el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización

### **Design of disinfection equipment for ultraviolet light to wastewater treatment with goals of re-utilization**

*Mayra Sánchez, Nellimar Villalobos, Edixon Gutiérrez y Yaxcelys Caldera*

Cinética de intercambio iónico bajo control mixto en medio lácteo

### **Ion exchange kinetics under mixed control in milk**

Jorge Alaña, Karina Martínez, José González, Juan Hernández y César García

Contenido de fracciones orgánicas en aguas de producción de petróleo

### **Organic fractions in water from crude oil production**

*Edixon Gutiérrez, Yaxcelys Caldera, Leopoldo Ruesga, Cristina Villegas, Roscio Gutiérrez, Ninoska Paz, Edith Blanco y Zulay Mármol.*

Solitones topológicos: Cúmulos de energía

### **Topological solitons: Lumps of energy**

*Ramón J. Cova*

Ingeniería Química: Historia y Evolución

### **Chemical Engineering: History and Evolution**

*Cateryna Aiello Mazzarri, Zulay Mármol y Araceli Sánchez de Puertas*

Comparación de las propiedades que influyen en la combustión entre el fly ash, carbón y diferentes derivados del petróleo

### **Comparison of the properties that influence in the combustion among the fly ash, coal and different derived of the petroleum**

*Anali Machado, Cezar García, Yolanda Rincón, Neyma García, José González y Juan Hernández.*

Nitrobacterias en reactores biológicos rotativos de contacto (RBC) de tres cámaras bajo diferentes cargas orgánicas

### **Nitrobacteria in three stages rotating biological contactor (RBC) reactors under different organic loads**

*Julio César Marín, Evelín Castro, Elisabeth Behling, Gilberto Colina, Laugeny Díaz y Nancy Rincón.*

Generalización de los polinomios de Bernoulli de índice arbitrario complejo

### **Generalization of Bernoulli polynomials of arbitrary complex index**

*Ana Isolina Prieto, Josefina Matera, Susana Salinas de Romero y Marleny Fuenmayor*

**N° 3 Julio - Diciembre 2012**

Criterios para la gestión de los sistemas de inventarios

**Criteria for management inventories systems**

*Alfredo Leal y Karim Oliva*

Contenidos curriculares y rendimiento académico de los estudiantes en la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia

**Contents curriculares and academic performance of the students in the Faculty of Agronomy of the University of Zulia**

*Mary Isabel Urdaneta Portillo, Gladys Sarmiento, José Hernández y Jairo Fernández*

Mínimos cuadrados parciales con el método de descenso de mayor pendiente

**Partial least square with method of maximum gradient descent**

*Eddy Jackeline Rodríguez*

Usabilidad de entornos virtuales 3D colaborativos en el proceso de enseñanza–aprendizaje

**Usability of collaborative 3D virtual environments in the teaching-learning processes**

*Carlos Arrieta*

Desinfección de aguas residuales de una industria avícola para su reutilización

**Disinfection of poultry industry wastewater for reuse**

*Edixon Gutiérrez, Anna Travaglini, Giselle Uzcátegui y Yaxcelys Caldera*

Estudio comparativo entre el método de Lemke y el método de los conjuntos activos para programación cuadrática

**Comparative study between Lemke's method and the active set method for quadratic programming**

*Marihebert Leal, Kilkenis Fuenmayor, Javier Bastidas y Susana Salinas*

**N° 4 Enero - Junio 2013**

Comunidades de práctica en la investigación universitaria

**Communities of practice in the university research**

*Sergio de Pool*

Representación integral de la función de Bessel de dos índices y un parámetro

**Integral representation of the Bessel function of two indexes and a parameter**

*Leda Galué y Greilyn Castillo*

Algunas propiedades de las N – Normas (I)

**Some properties of N – Norms**

*José Sarabia*

Biodegradación de queroseno por cultivos de bacterias aisladas de una fosa petrolera en Venezuela

**Kerosene biodegradation by bacterial cultures isolated from oil pit in Venezuela**

*Laugeny Díaz, Beltrán Briceño, Mónica García, Néstor Rosales, Julio Marín, Cateryna Aiello y Ever Morales.*

Factibilidad de inserción del Transmilenium como solución a la situación actual del sistema de transporte público de la ciudad de Maracaibo

**Feasibility study of the Transmilenium like a solution to the actual public transport situation in the Maracaibo city**

*Angi Rojas y Marco Hinder*

Modelado del secado en capa fina y del presecado al sol a diferentes alturas de la capa de la Lemna obscura del Lago de Maracaibo

**Modeling of the thin layer drying and solar predrying at the different layer thicknesses of the Lemna obscura from Maracaibo Lake**

*Leobaldo Suárez, Alexis Faneite y Alexis Ferrer*

Algunos resultados de la subordinación diferencial de Briot – Bouquet de funciones analíticas

**Some results on Briot – Bouquet differential subordination of analytic functions**

*Alka Rao y Shyam Kalla*

**N°5 Julio - Diciembre 2013**

Biblioteca de diferenciación automática para la máquina virtual de Java

**Automatic differentiation library for the Java virtual machine**

*María E. Portillo Montiel, Nelson Arapé, Gerardo Pirela Morillo*

Eficiencia de las semillas Moringa oleifera como coagulante orgánico en la remoción de metales en aguas de baja turbiedad

**Efficiency of the moringa oleifera seeds as organic coagulant for metal removal in low turbidity wastewaters**

*Marielba Mas y Rubí, Sedolfo Carrasquero, Daimarys Martínez, Donaldo Gabriel Mejías, Luis Vargas*

Evaluación de la recuperación de vanadio y níquel por lixiviación ácida de las cenizas volantes del aceite combustible

**Evaluation of the recovery of vanadium and nickel by acid leaching from oil fly ash**

*César García, Roselis Rosales, Bianca Feijoo, Juan Hernández, José González, Gabriela Carruyo*

Influencia de la relación de aspecto de la geometría vertical en el comportamiento estructural de edificaciones aporricadas de concreto armado

**Influence of the aspect ratio of vertical geometry on the structural behavior of framed reinforced concrete...**

*Oswaldo J. Russián A., Víctor R. Salazar V., Gerardo J. Gutiérrez D.*

Análisis numérico computacional de la distribución de temperaturas en una barra

**Computational numerical analysis for the temperatures distribution in a bar**

*Alfredo Villalobos, Antonio Quintero*

Validación de un método cromatográfico para la determinación de vitamina A en muestras de leche

**Validation of a chromatographic method for the determination of vitamin A in milk samples**

*Karelen Araujo, Gisela Páez, Zulay Mármol, Elsy Arenas, Ana Cáceres, Cateryna Aiello Mazzarri*

**N° 6 Enero - Junio 2014**

Sobre una generalización de la función hipergeométrica de Gauss

**On one generalization of the Gauss' hypergeometric function**

*Nina Virchenko*

Representación integral de las  $p$ -funciones de onda

**Integral representation of  $p$ -wave functions**

*Iryna Aleksandrovich, Nina Virchenko*

Algunos resultados sobre la función de Bessel de tres variables

**Some results on Bessel function of three variables**

*Ana Isolina Prieto, Josefina Matera, Leda Galué, Susana Salinas*

Integrales y ecuación diferencial que involucran la función de Wright

**Integrals and differential equations involving Wright functions**

*Susana Salinas de Romero, Daniel Meza, Marleny Fuenmayor*

Desigualdades integrales fraccionales y sus  $q$ -análogos

**On fractional integral inequalities and their  $q$ -analogues**

*Sunil Dutt Purohit, Faruk Uçar, R.K. Yadav*

Una nueva clase de polinomios  $q$ -Apostol-Bernoulli de orden  $\alpha$

**A new class of  $q$ -Apostol-Bernoulli polynomials of order  $\alpha$**

*Mridula Garg, Subhash Alha*

Algunos resultados que involucran operadores  $q$ -integrales fraccionales generalizados de Erdélyi-Kober

**Some results involving generalized Erdélyi-Kober fractional  $q$ -integral operators**

*Leda Galué*

Revisión de la teoría de Boehmians

**Boehmians revisited**

*P. K. Banerji, Deshna Loonker*

Algunas propiedades de las  $N$ -normas (II)

**Some properties of  $N$ -norms (II)**

*José A. Sarabia R.*

**N° 7 Julio - Diciembre 2014**

Fermentación en estado sólido: Una alternativa biotecnológica para el aprovechamiento de desechos agroindustriales

**Solid state fermentation: A biotechnological alternative for exploitation of agroindustrial wastes**

*José R. Ferrer G, José L. Machado, Jhanna Brieva*

Propuesta de un sistema de seguridad residencial inalámbrico basado en instrumentación virtual

**Proposal for a wireless home security system based on virtual instrumentation**

*Gereli de los Ángeles Gutiérrez Finol*

Sistema de facturación vehicular en peajes basado en tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID)

**Vehicular toll collection system based on radio frequency identification technology (RFID)**

*Angel D. Larreal M., Georma P. Marachli M.*

Determinación del grado de conversión global del jugo de piña en etanol por medio de la fermentación alcohólica

**Determination of the conversion degree of pineapple juice through alcoholic fermentation**

*Briceida C. Fernández A., Maite V. Gómez S., José R. Ferrer G, Marisela Rincón*

Modelo matemático para la evaluación de parámetros hidráulicos de un reactor anaerobio de flujo ascendente a escala piloto (RAFAep)

**Mathematical model for evaluating parameters of a hydraulic upflow anaerobic reactor pilot scale (RAFAep)**

*Gabriel Arguello, Gerardo Aldana, Jhonny Perez*

Dispersión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con baja turbidez

**Bovine bone gelatinous dispersion for clarification of water with turbidity low**

*Lorena Fuentes, Yolimar Aguilar, Yaxcelys Caldera, Iván Mendoza*

Nanocompuestos basados en arcilla y mezclas heterogéneas de termoplásticos. Una revisión

**Nanocomposites based on clay and heterogenous blends of thermoplastics. A review**

*Helen Inciarte, Haydée Oliva*

**N° 8 Enero - Junio 2015**

Análisis, diseño y simulación del sistema subactuado Pendubot

**Analysis, design and simulation of Pendubot subactuated mechanical systems**

*Atilio Morillo y Maribel Pérez Pirela*

Remoción de arsénico presente en oil fly ash por lixiviación ácida

**Arsenic removal from oil fly ash by acid leaching**

*José González, Julissa Arguelles, Milagros Ojeda, Juan Hernández, Gabriela Carruyo y Cezar García*

Sistema de control en modo deslizante para regular la posición y la velocidad de un motor de corriente directa

**Sliding mode control to regulate the speed and position of a motor of direct current**

*Ernesto Cornieles y Jacobo Ramírez*

Evaluación fisicoquímica y fitoquímica de Granada (*Punica granatum* L.)

**Evaluation of physical and phytochemical properties of the granada (*Punica granatum* L.)**

*Johana Raga, Zulay Marmol, Evelyn Pérez, Gisela Páez y Karelen Araujo*

Cuantificación y caracterización de los residuos de alimentos del Comedor Central Estudiantil de la Universidad del Zulia

**Quantification and characterization of food residues from the Student Central Dinning of the University of Zulia**

*Karina Martínez, John Sánchez, Yuleidi Raga, Zulay Marmol, Elsy Arenas y Cateryna Aiello*

Modelado de problema de regresión lineal con método Cuasi-Newton

**Modeling linear regression problem with Quasi-Newton method**

*Eddy Rodríguez*

Efecto de las condiciones de hidrofobización de una arcilla natural sobre su distribución y dispersión en mezclas de poliestireno/polibutadieno/estireno

**Effect of the hydrophobization conditions of natural clay on its distribution and dispersión in polystyrene/polybutadiene/styrene blends**

*Ida González, Haydee Oliva, Ysabel Cedeño, Helen Inciarte, Diana Soto y Eliezer Velásquez*

Estudio del comportamiento de las redes sónicas de alta velocidad

**Study of performance of the sonic high speed networks**

*Luis Rojas*

**N° 9 Junio - Diciembre 2015**

Onda de propagación TE en una microcinta abierta con dos dieléctricos

**TE propagation wave in an open microstrip with two dielectrics**

*Augusto Galo.*

Lixiviación diferenciada de metales mayoritarios de cenizas volantes.

**Differentiated leaching of majoritarian metales from fly ash**

*Juan Hernández, José González, Gabriela Carruyo y Cezar García.*

Control y telemanipulación a distancia de un sistema multivariable.

**Control and remote accessing of a multivariable system**

*Ernesto Cornieles, German Gutiérrez y Jacobo Ramírez.*

Aprendizaje constructivista para el análisis de estructuras mediante el uso de un entorno virtual.

**Constructivist learning for the analysis of structures by using a virtual environmental.**

*Evelyn Marín*

Análisis de la emisión y dispersión del dióxido de nitrógeno en un sector de alto flujo vehicular.

**Analysis of the emision and dispersion of nitrogen dioxide in areas of high vehicular traffic.**

*Alberto Córdova, Anali Machado, Neyma Garcia, Gilberto Colina y Cezar García.*

Teorema para la función de Bessel generalizada que involucran polinomios de Hermite.

**Theorems for the generalized Bessel function that involving Hermite polynomials.**

*Josefina Matera, Ana Isolina Prieto, Leda Galué y Susana Salinas de Romero.*

Aporte nutricional de un biosólido avícola obtenido en un proceso de digestión aerobia sobre un cultivo de cebollín.

**Nutritional contribution of a poultry biosolids obtained in a process of aerobic digestion on the growing of green onion.**

*Leopoldo Ruesga, María Ocando, Miguel López, Enyris Gutiérrez, Yaxcelys Caldera y Edixon Gutiérrez.*

Opuntia ficus-indica y Opuntia wentiana: estudio comparativo sobre su efectividad como coagulantes en la clarificación del agua.

**Opuntia ficus-indica and Opuntia wentiana: comparative study on its effectiveness as a coagulant in water clasification.**

*Yualis González, Lorena Fuentes, Ivana Mendoza y Yaxcelys Caldera.*

**N° 10 Enero - Junio 2016**

Efecto de la temperatura de calcinación de la sílice en el sistema Pt/CeO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> para la oxidación de metano  
**Effect of Silica Calcination Temperature in the System Pt/CeO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> for Methane Oxidation**

*Julio Moreno, Jeannette Zarraga, Dora Finol, Víctor Ferrer*

Diseño de una red de monitoreo de calidad de aire para un complejo petroquímico  
**Design of a network of monitoring of air quality for a petrochemical complex**

*Eudo Nava, Rima Simancas, Cezar García*

Efecto de la aireación en la producción de abono orgánico mediante la fermentación en estado sólido del desecho de uva blanca

**Effect of aeration in the organic fertilizer production by solid state fermentation of waste white grape**

*Jhanna P. Brieva F., José R. Ferrer G., Carlos Fernández B, Jorge Ortega*

Incidencia de los residuos y contaminantes químicos en alimentos de origen animal y vegetal

**Incidence of chemical residues and contaminants in food of animal and vegetable origin**

*Jean Carlos Belandría Briceño, Mary Andara, Juan Arias, Adriana Urdaneta*

Perfil de aminoácidos en dietas formuladas para la alimentación de peces, utilizando residuos del procesamiento industrial de crustáceos

**Amino acid profile formulated diets for fish feed, using industrial waste processing crustaceans**

*Mary Andara, Juan Arias, Jean Belandría, Jhanna Brieva, Willy Gómez*

Desarrollo de un algoritmo que implemente el método de diferencias finitas para resolver las ecuaciones de Einstein utilizando el formalismo 3+1 de la relatividad numérica

**Development of an algorithm that implements the finite Difference method to solve Einstein's equations via the 3+1 formalism of numerical relativity**

*Favio Vásquez, Jubert Pérez*

Estudio de factibilidad para el establecimiento de una fábrica semi-industrial de compotas de pseudo fruto de cajuil (anacardium occidentale.) en el estado Zulia

**Feasibility study for establishing of a semi-industrial factory of cashew (anacardium occidentale.) apple compote in Zulia state.**

*Marlyng Borjas, Alexis Faneite, José Ferrer*

Evaluación de agentes de parada corta en las reacciones de polimerización de la planta PVC II del complejo petroquímico Ana María Campos

**Evaluation of short stop in polymerization reactions of the PVC II plant petrochemical Complex Ana María Campos**

*Lined P. Durán H., Leiza P. Brango G., Oscar Urdaneta*

**N° 11 Julio - Diciembre 2016**

Implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de velocidades centrifugas de compresores.

**Implementation of predictive maintenance plan based on analysis of speed centrifugal compressor.**

*Kenneth Rosillon y Oscar Aguillar*

Accidente: Fenómeno Estocástico.

**Accident: Stochastic Phenomena.**

*José Vicente Ferrer y Naudy Leal.*

Categorización de usuarios de Twitter.

**Categorizing Twitter users.**

*Fracisco Luengo, Carla Morillo y Yaskelly Yedra.*

Uso del  $W_{xmaxima}$  en la enseñanza de la ecuación integral de Fredholm de segunda especie.

**Use of  $W_{xmaxima}$  on teaching the Fredholm integral equation of second order.**

*Jhonny Araque, Robert Quintero y Oscar León.*

Modelo diferencial de transferencia de masa para el análisis de la lixiviación ácida del oil fly ash.

**Differential mass transfer model for the analysis of the acid leaching of oil fly ash.**

*Juan Hernández, José González, Gabriela Carruyo y Cezar García.*

Integrales que involucran funciones de Bessel de tres variables y dos parámetros.

**Integrals involving Bessel functions of three variables and two parameters.**

*Leda Galué.*

**N° 12 Enero – Junio 2017**

Método de planos de corte modificado para programación lineal entera en la toma de decisiones cuantitativas.

**Modified cutting-plane method for integer linear programming in the making of quantitative decisions.**

*Jenny Márquez.*

Efecto de un acidificante orgánico en los parámetros productivos de pollos de engorde.

**Effect of an organic acidifier in productive parameters of broilers.**

*Diego Parra Rojas, José Parra Rojas y Ramón Urdaneta.*

Análisis del censo catastral de la Isla de Zapara, a través de la Ley Orgánica de Ordenación del Territorio, la Ley Orgánica de Seguridad de la Nación y la Ley de Tierras y Desarrollo Agrario.

**Analysis of cadastral survey Zapara Island, through the Organic Law of Planning, the Law on National Security and the Law on Land and Agricultural Development.**

*Yvonne López de Martínez, Yogry Castillo y Daniela Romero.*

Percepción remota del vapor de agua troposférica en zonas adyacentes a estaciones GPS de operación continua utilizando el sensor satelital MODIS.

**Tropospheric water vapor remote sensing by MODIS satellital in zones near continuous operating GPS Stations.**

*Sarai Leal, Víctor Cioce, Giovanni Reyero y Eugen Wildermann.*

Análisis elipsométrico de nanoestructuras híbridas semiconductor/ metal: Co/AIN/AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y AIN/Co/AIN/AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**Elipsometric analysis of hybrid semiconductor / metal nanostructures: Co/AIN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y AIN/Co/AIN/AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

*José Fermín Darío Rincón, Giovanni Marín y Carlos Chesman Feitosa.*

Modelo reológico para mezclas fluidas de carbón mineral.

**Rheological model for fluid mixtures of mineral coal.**

*Henry Leal, Pragedes Paredes, José González y César García.*

## **Normas para la presentación de artículos**

**1. La Revista Tecnocientífica URU** es una revista digital arbitrada de la Universidad Rafael Urdaneta cuyo propósito es dar a conocer trabajos científicos originales e inéditos en las áreas de Ingeniería (Química, Civil, Eléctrica, Computación, Telecomunicaciones, Industrial y Producción Animal, entre otras.

### **2. Tipos de trabajos**

Se aceptaran para la publicación artículos científicos inéditos, esto es, que no hayan sido enviados o publicados en otro órgano de divulgación científica con anterioridad, con un máximo de quince (15) páginas y escrito en MICROSOFT OFFICE WORD. Se deben consignar tres copias y un CD-ROM del artículo.

- 2.1 Artículos de actualización científica que resuman el “Estado del Arte” de las áreas de la revista, con un máximo de quince (15) páginas.
- 2.2 Artículos de reflexión sobre un tema específico de las áreas de la revista, desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, recurriendo a fuentes originales.
- 2.3 Artículos de revisión: documentos donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones, publicadas o no, sobre una temática especializada de las áreas de la revista.
- 2.4 Artículos de discusión: documentos que presentan el debate de afirmaciones realizadas en artículos anteriores.
- 2.5 Artículos de invitados especiales con un máximo de quince (15) páginas.
- 2.6 Notas técnicas: sobre mejoras de procesos en ingeniería, resultados de investigaciones derivadas del ejercicio profesional en ingeniería y ciencias afines, con un máximo de ocho (8) páginas.

### **3. La portada debe contener**

- 3.1 Título del trabajo en español e inglés en letras mayúsculas y minúsculas.
- 3.2 Nombre(s) del autor(s), 6 autores como máximo y su dirección institucional(es) completa(as) (dirección postal, correo electrónico).
- 3.3 Resumen del trabajo en español e inglés (abstrac) con un máximo de doscientas (200) palabras.
- 3.4 Palabras clave en español e inglés (key words) con un máximo de cinco (05) palabras.

### **4. Normas de estilo**

- 4.1 El orden a seguir para el artículo es: portada, resumen (en español e inglés), introducción, fundamentos teóricos, parte experimental, resultados, discusión de resultados, conclusiones, agradecimiento y referencias bibliográficas.
- 4.2 El artículo debe escribirse en estilo Times New Roman tamaño 12, el título tamaño 16 y las figuras, tablas y texto subordinados tamaño 10.

- 4.3 El interlineado debe ser doble espacio a excepción del resumen, agradecimiento y referencias bibliográficas que van a un espacio.
- 4.4 El nombre de cada sección se escribirá en negritas. Estos deberán estar centrados.
- 4.5 El nombre de las subsecciones se escribirá en negritas a la izquierda del texto y en mayúsculas y minúsculas.
- 4.6 Las figuras, fotografías, diagramas y gráficos deben denominarse como figuras y estas deben ir numeradas con números arábigos, así como las tablas. Además, deben incluirse dentro del texto correspondiente y con su respectiva leyenda.
- 4.7 La redacción de los trabajos puede ser en español o inglés.
- 4.8 Las fotografías, imágenes, mapas y figuras incluidas en el documento se anexaran también por separado en el CD-ROM con excelente calidad.
- 4.9 Las fotografías deben estar en blanco y negro, bien contrastadas y brillantes de un ancho máximo de 9,5cm.
- 4.10 Todos los símbolos matemáticos deben ser escritos en forma clara y legible, con los subíndices y superíndices ubicados correctamente.
- 4.11 Deben ser numeradas todas las ecuaciones matemáticas en forma consecutiva con números arábigos entre paréntesis y ubicados en el margen derecho.
- 4.12 Las citas dentro del documento se escriben con el nombre de sus autores seguido con un número entre corchetes que corresponde a la referencia.

Ejemplo: García [1], L Moreno [3, Pág. 19-24] o ubicando el número de la referencia sin colocar autor [4], si son 3 o más autores se escribe K. Nishimoto et al. [2].

Las referencias bibliográficas de artículos de revistas deben contener autor(es) si tiene varios autores separarlos con comas, título de la revista, volumen y número, año de publicación (entre paréntesis) y páginas. Solo deben incluirse referencias bibliográficas con autores totalmente identificados y se escribirán por orden de aparición de las citas.

Ejemplo: García C., Marín j., Alaña J., Martínez K. y Faria J., Modelo de Nernst-Planck aplicado a la cinética de intercambio iónico del sistema PO<sub>4</sub>(-3)- Cl(-1) en leche, Rev. Tec. Ing.Univ. Zulia, Vol. 30, N°. 3, (2007), 236-243.

Los libros se escriben: apellido e inicial del autor(es) con mayúsculas y minúsculas.

Ejemplo: Nishimoto K. (Editor), Fractional Calculus and its Applications, Nihon University, Tokyo (1990).

- 4.13 En los artículos deben emplearse unidades del Sistema Internacional: metro (m), kilogramos (Kg), Segundo (s), entre otras.

## 5. Arbitraje

- 5.1 El trabajo, recibido por el Editor(a), será enviado al Comité Editorial para su revisión y consideración de tres árbitros.

- 5.2 El método de arbitraje que sigue la revista es de tipo “doble ciego”, que consiste en que tanto los árbitros como los autores desconocen sus respectivas identidades.
- 5.3 Los trabajos serán evaluados de acuerdo a los siguientes criterios: claridad, originalidad del contenido, aportes al campo de conocimiento, coherencia del discurso, adecuada organización interna, calidad de las referencias bibliográficas, adecuada elaboración del resumen y pertinencia del título.
- 5.4 En caso de recibir observaciones por parte de los árbitros, estas serán enviadas al(los) autor(es) para su corrección. Después de realizar las correcciones, los autores devolverán la versión corregida en un CD-ROM, así como un original impreso y tres copias.
- 5.5 Las pruebas de imprenta serán enviadas a los autores para la revisión final del artículo.
- 5.6 Cuando el trabajo sea aceptado los autores serán informados del tiempo aproximado de publicación. Si el trabajo es rechazado los autores podrán remitir al Editor(a) Jefe una comunicación exponiendo argumentos a favor de su artículo. El Comité Editorial considerará las acciones a tomar.
- 5.7 Cada autor principal de los artículos publicados recibirá gratuitamente una (1) revista y cinco (5) separatas.

## **6. Consideraciones finales**

- 6.1 Los conceptos u opiniones emitidos en los artículos, serán de exclusiva responsabilidad de los autores.
- 6.2 El Comité Editorial se reserva el derecho de los arreglos de estilo que considere conveniente.
- 6.3 Bajo ninguna circunstancia, la revista devolverá los originales (Impreso y CD-ROM) de los artículos enviados por su consideración.
- 6.4 Lo no previsto en las presentes normas será resuelto por el Comité Editorial.



## **Guidelines for Submitting Articles**

**1. URU techno-scientific journal** is an arbitrated digital journal of the Rafael Urdaneta University, whose purpose is to publish scientific papers in the areas of engineering (Chemical, Civil, Electrical, Computer, Telecommunications, Industrial, Animal Production, etc.).

### **2. Types of articles**

Articles will be accepted for publication which have not been submitted or published in other scientific journals, and should have a maximum of fifteen (15) pages, and written in MICROSOFT OFFICE WORD. Three copies should be submitted along with a CD-ROM containing the article.

- 2.1 Scientific articles that summarize the “state of the art “ in areas of interest for the journal with a maximum of fifteen (15) pages.
- 2.2 Reflection articles on specific issues covered by the magazine, from an analytical, interpretative or critical viewpoint of the author, and based on original sources.
- 2.3 Review articles which analyze, systematize and integrate results, published or unpublished, on specific issues covered by the magazine.
- 2.4 Discussion articles: A document that presents the debate of assertions published in previous articles.
- 2.5 Articles by special guests with a maximum of fifteen (15) pages long.
- 2.6 Technical notes on process improvements in engineering, results of research obtained from professional practice in engineering and related fields, with a maximum of eight (8) pages.

### **3. The front page must contain**

- 3.1 Title of paper in English and Spanish, in uppercase and lowercase letters.
- 3.2 Author’s name , maximum of 6 authors and full institutional address or addresses (postal address, e-mail).
- 3.3 Abstract in Spanish and English with a maximum of two hundred (200) words.
- 3.4 Key words in Spanish and English with a maximum of five (5) words.

### **4. Text guidelines**

- 4.1 The sequence for the article should be as follows: title, abstract (in English and Spanish), introduction, theoretical foundations, experimental part, and discussion of results, conclusions, acknowledgements and references.
- 4.2 Article should be written in 12 point Times New Roman, and 16 point for the title, and figures, tables and subordinate text should use 10 point. Interlining should be double space; abstract, acknowledgments and references should be single space.

- 4.3 The heading of each section should be centered and written in boldface letters.
- 4.4 Subsections headings should be written in boldface letters on the left of text and in upper and lower case letters.
- 4.5 Figures, photographs, diagrams and charts should be labeled as figures, and numbered with Arabic numerals, as well as tables. They should be included within the corresponding text along any explanation.
- 4.6 The article draft should be in Spanish or English.
- 4.7 Photographs, images and figures included in the document should be annexed separately on a CD-ROM of excellent quality.
- 4.8 Photographs must be in black and white, with good contrast and brightness, with a maximum width of 9.5 centimeters.
- 4.9 Mathematical symbols should be written clearly and legibly, with subscripts and superscripts correctly located.
- 4.10 Mathematical equations should be numbered sequentially with Arabic numerals within parentheses and placed on the right margin.
- 4.11 Quotations within the document should be written with the author's name followed with a number inside brackets that corresponds to the reference. Examples: García [1], L. Moreno [3, pages 19-24] or, if there are three or more authors, the reference number without the author's name [4], and written as K.Nishimoto et al. [2].
- 4.12 Bibliographic references to journal articles should include author (s) name (s); if it has multiple authors, their names should be separated by commas, title of journal, volume and number, year of publication (in parentheses) and page numbers. Bibliographical references should be included only when authors are fully identified and they will be written in order of appearance of the quote. Example: Garcia C., Marin J., Alaña J., Martinez K y Faria J., Model of Nernst-Planck applied to the ion exchange kinetics of the PO<sub>4</sub> (-3)-Cl(1) system in milk, Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia, vol. 30, N° 3, (2007), 236-243.
- Books references should be written: surname and initial of the author (s) name (s) in uppercase and lowercase letters.
- Example: Nishimoto K. (editor), Fractional calculus and its applications, Nihon University, Tokyo (1990).
- 4.13 Articles should use the International System Units: meter (m), kilogram (kg), second (s).

## **Evaluation**

- 5.1 Articles received by the Editor (s) will be submitted to the Editorial Committee for review and consideration of three arbitrators.
- 5.2 The evaluation method followed by the Journal is of the "double blindness" type; neither the arbitrators nor the authors know their respective identities.
- 5.3 The works submitted will be evaluated according to the following criteria: clarity of language,

originality of contents, contributions to the field of knowledge, coherence, adequate internal organization and quality of bibliographic references, appropriate elaboration of the abstract and relevance of title.

- 5.4 In case of observations from the referees, these will be forwarded to the author (s) for corrections. After making corrections, the authors should return the corrected version on a CD-ROM, as well as an original of the reviewed work and three copies.
- 5.5 Press proof will be sent to authors for final review of the article.
- 5.6 When the work is accepted, authors will be informed of the approximate date of publication. If the work is rejected, the author may submit a communication to the Editor in Chief presenting his arguments in favor of the article. The Editorial Committee will consider the actions to take.
- 5.7 Each author will receive one (1) free copy of the journal volume and 5 reprints.

#### **Final considerations**

- 6.1 Concepts or opinions expressed in articles shall be the sole responsibility of the authors.
- 6.2 The Editorial Committee reserves the right for any format changes that considers convenient.
- 6.3 Under no circumstances, the magazine will return the original of the articles (print and CD-ROM) submitted for consideration.
- 6.4 Questions not answered by these guidelines shall be resolved by the Editorial Committee.

***Revista Tecnocientífica URU N° 13***

Maracaibo, Venezuela