

# INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

AÑO 26  
MAYO-AGOSTO 2018

# 74

EDICIÓN CUATRIMESTRAL  
ISSN: 1665-4412

CIENCIAS AGROPECUARIAS, CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS, CIENCIAS DE LA SALUD, INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS, CIENCIAS ECONÓMICAS, CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES



Calidad microbiológica de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) para la venta al público

Distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de verdolaga silvestre (*Portulaca oleracea* L.) en la Región Lagunera de Coahuila, México

Caracterización de consumidores agroindustriales de carne de pequeños rumiantes en el Estado de México

Implementación de un sistema para evaluar la neurotoxicidad de los contaminantes ambientales en larvas de pez cebra (*Danio rerio*)

Extracción etanólica de aceite de semillas de *Moringa oleifera*

Metales pesados en sedimentos de la Laguna de Bustillos, Chihuahua, México y comparación de agua regia y peróxido de hidrógeno como métodos de digestión

Modelado mediante redes de colas abiertas con realimentación de la sala de urgencias de un hospital público

El transporte de carga y el comercio internacional de los países miembros del TLCAN: Un análisis de elasticidades

El efecto de la autoeficacia y el trabajo colaborativo en estudiantes novatos de programación

Efectos negativos de la radiación ionizante empleada en diagnóstico odontológico

Stephen Hawking. *In memoriam*

Revolución. *Del Homo sapiens al Homo digitalis*. Reseña



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES

Dirección General de Investigación y Posgrado  
Departamento de Apoyo a la Investigación

# INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

**INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES**, año 26, núm. 74, periodo mayo-agosto 2018, es una publicación periódica, cuatrimestral, multidisciplinaria, editada y distribuida por la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad No. 940, Ciudad Universitaria, C.P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Tel./Fax. 449 9 10 74 00, ext. 34113, [www.uaa.mx/investigacion/revista](http://www.uaa.mx/investigacion/revista), [revistaiyc@correo.uaa.mx](mailto:revistaiyc@correo.uaa.mx). Editor responsable: María del Carmen Martínez Serna. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2002-042412342500-102, ISSN: 1665-4412. Número de Certificado de Licitud de Título: 12284, Número de Certificado de Licitud de Contenido: 8497, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Registro Postal en SEPOMEX No. PP01-0003. Diseñada e impresa en el Departamento de Procesos Gráficos de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad No. 940, Ciudad Universitaria, C.P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Este número se terminó de imprimir el 31 de mayo de 2018 con un tiraje de 1,000 ejemplares.

Los artículos firmados son responsabilidad de su autor y no reflejan necesariamente el criterio de la institución, a menos que se especifique lo contrario.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Precio por ejemplar \$60.00 (pesos). Costo por suscripción anual \$160.00 (pesos).

La revista **Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes** está citada en los siguientes índices:

## ÍNDICES:

### Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica del CONACYT,

<http://www.conacyt.gob.mx>

**Índice Internacional**, "Actualidad Iberoamericana" ISSN 0717-3636. Centro de Información Tecnológica-CII, La Serrana, Chile, <http://www.citchile.cl>

**IRESIE** (Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa), <http://iresie.unam.mx>

**LATINDEX** (Sistema Regional de Información en línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal), <http://www.latindex.org>

**PERIÓDICA** (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias), [periodica.unam.mx](http://periodica.unam.mx)

**REDALYC** (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), <http://www.redalyc.org>

## BASES DE DATOS:

**BIBLAT** (Bibliografía Latinoamericana en revistas de investigación científica y social), <http://biblat.unam.mx/es/>

**DIALNET** (Hemeroteca de artículos científicos hispanos en internet) <http://dialnet.uniroja.es>

**INFORME ACADÉMICO**, [www.gale-la.com/galeiberoweb/products/db/informe-academico.php](http://www.gale-la.com/galeiberoweb/products/db/informe-academico.php)

**ULRICH'S** Periodicals Directory, <http://ulrichsweb.serialssolutions.com>

**EBSCO, MÉXICO**, <https://www.ebscohost.com>



**ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS  
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**

## FOTOGRAFÍAS DE PORTADA:

- Coliformes totales
- Carnicería (venta en canal y cortes de carne) de Capulhuac, Estado de México
- Se recomienda realizar estudios a mayor profundidad para evaluar si se ha presentado movilidad de metales y si ha habido interacción con la materia orgánica
- Aceite extraído a 65 y 78 °C, respectivamente
- Larva de 120 hpf
- Localización del área de estudio
- Aprendizaje de la programación
- Localización del sistema acuático Laguna de Bustillos en el estado de Chihuahua, México

# DIRECTORIO

Dr. en C. Francisco Javier Avelar González  
**Rector**

M. en Der. Const. J. Jesús González Hernández  
**Secretario General**

Dra. en Admón. María del Carmen Martínez Serna  
**Directora General de Investigación y Posgrado**

Dr. en Farm. Raúl Ortiz Martínez  
**Decano del Centro de Ciencias Agropecuarias**

M. en C. José de Jesús Ruiz Gallegos  
**Decano del Centro de Ciencias Básicas**

M. en C. Luis Enrique Arámbula Miranda  
**Decano del Centro de Ciencias de la Ingeniería**

Dr. Jorge Prieto Macías  
**Decano del Centro de Ciencias de la Salud**

M. en Fil. Omar Vázquez Gloria  
**Decano del Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción**

Dra. Sandra Yesenia Pinzón Castro  
**Decana del Centro de Ciencias Económicas y Administrativas**

M. en Imp. Salvador de la Cruz Torres  
**Decano del Centro de Ciencias Empresariales**

Dra. Griselda Alicia Macías Ibarra  
**Decana del Centro de Ciencias Sociales y Humanidades**

M. en RSM. José Luis García Ruvalcaba  
**Decano del Centro de las Artes y la Cultura**

## CONSEJO EDITORIAL

- Dr. Francisco Cervantes Pérez  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, MÉXICO  
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
- Dr. Alfredo Feria Velasco  
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, MÉXICO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES
- Dr. Luis Miguel García Segura  
INSTITUTO CAJAL  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
MADRID, ESPAÑA
- Dr. Frank Marcano Requena  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, VENEZUELA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
- Dr. Javier de Felipe Oroquieta  
INSTITUTO CAJAL  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
MADRID, ESPAÑA
- Dr. Philippe Poujeol  
UNIVERSIDAD DE NIZA-SOPHIA, ANTIPOLIS FRANCESA, FRANCIA  
LABORATORIO DE FISIOLÓGIA CELULAR Y MOLECULAR
- Dr. José Luis Reyes Sánchez  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, MÉXICO  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS  
DEPTO. DE FISIOLÓGIA, BIOFÍSICA Y NEUROCIENCIAS

## COMITÉ EDITORIAL

- Dr. Jaime Raúl Bonilla Barbosa  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS, MÉXICO  
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
- Dr. Juan Carlos A. Jáuregui Correa  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO, MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA
- Dra. Edith R. Jiménez Huerta  
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, MÉXICO  
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS REGIONALES-INESER
- Dra. María J. Rodríguez-Shadow  
INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA, MÉXICO  
DIRECCIÓN DE ETNOLOGÍA Y ANTROPOLOGÍA SOCIAL
- Dr. Óscar Alejandro Viramontes Olivas  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA, MÉXICO  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN SOCIAL Y ADMINISTRATIVO  
Y SUSTENTABLE
- Dra. Mineko Shibayama  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS  
DEL IPN, MÉXICO  
DEPARTAMENTO DE INFECTÓMICA Y PATOGÉNESIS MOLECULAR
- Dra. María del Carmen Martínez Serna  
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO  
Editor
- Lic. Sandra Margarita Ruiz Guerra  
Asistente
- Lic. Mónica Ávalos Valladares  
Corrector de estilo
- Dr. Marcelo de Jesús Pérez Ramos  
Corrector de estilo idioma Inglés
- DEPARTAMENTO DE PROCESOS GRÁFICOS  
Armado e impresión

# CONTENIDO

## INVESTIGACIÓN

Pág.

### CIENCIAS AGROPECUARIAS

- **Calidad microbiológica de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) para la venta al público** **5-9**  
*Coriander's microbiology quality (*Coriandrum sativum* L.) for sale to public*

Marisol Santos Fernández  
Valeria Maldonado Ortega  
Yisa Ma. Ochoa Fuentes  
Ernesto Cerna Chávez  
Omegar Hernández Bautista

- **Distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de verdolaga silvestre (*Portulaca oleracea* L.) en la Región Lagunera de Coahuila, México** **10-16**  
*Spatial distribution of the probability of occurrence of wild purslane (*Portulaca oleracea* L.) in the Region Lagunera of Coahuila, Mexico*

Miguel Ángel Segura-Castruita  
Pablo Yescas-Coronado  
Jorge Arnaldo Orozco-Vidal  
Manuel Fortis-Hernández  
Pablo Preciado-Rangel  
José Alfredo Montemayor-Trejo

- **Caracterización de consumidores agroindustriales de carne de pequeños rumiantes en el Estado de México** **17-24**  
*Characterization agroindustrial consumers of small ruminants meat in the State of Mexico*

Jaime Mondragón-Ancelmo  
Patricia García-Hernández  
Luis Alejandro Rojas-Sandoval  
Ignacio Arturo Domínguez Vara  
Germán Gómez-Tenorio  
Samuel Rebollar Rebollar

- **Implementación de un sistema para evaluar la neurotoxicidad de los contaminantes ambientales en larvas de pez cebra (*Danio rerio*)** **25-31**  
*Implementation of a system to evaluate neurotoxicity of environmental pollutants in zebrafish larvae (*Danio rerio*)*

Selma Valles  
Everardo Gutiérrez López  
Ulises Bardullas

### CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

- **Extracción etanólica de aceite de semillas de *Moringa oleifera*** **32-38**  
*Ethanol extraction of oil from *Moringa oleifera* seeds*

Danger Tabio García  
Claudia Espinosa Acosta  
Yosvany Díaz Domínguez  
Maylin Rondón Macías  
Elina Fernández Santana  
Ramón Piloto-Rodríguez

- **Metales pesados en sedimentos de la Laguna de Bustillos, Chihuahua, México y comparación de agua regia y peróxido de hidrógeno como métodos de digestión** **39-47**  
*Heavy metals in sediments of the Bustillos Lagoon, Chihuahua, Mexico and comparison of aqua regia and hydrogen peroxide as digestion methods*

Héctor Osbaldo Rubio-Arias

# CONTENIDO

Pamela Fernanda Mejía-Leyva  
Leonor Cortés-Palacios  
Jesús Manuel Ochoa-Rivero  
Celia De La Mora-Orozco

- **Modelado mediante redes de colas abiertas con realimentación de la sala de urgencias de un hospital público** 48-57  
**Modeling a public hospital's emergency department with feedback open queue networks**

Gonzalo Everardo Aceves Gómez  
Ricardo Armando González Silva  
Héctor Alfonso Juárez López  
Rodolfo Rafael Medina Ramírez  
José Antonio Vázquez Ibarra

## CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

- **El transporte de carga y el comercio internacional de los países miembros del TLCAN: Un análisis de elasticidades** 58-72  
**Freight transport and international trade of NAFTA member: An elasticity analysis**

América I. Zamora Torres  
Diana Areli Mora Zimbrón

## CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

- **El efecto de la autoeficacia y el trabajo colaborativo en estudiantes novatos de programación** 73-80  
**The effect of self-efficacy and peer collaboration in novice programming students**

Carlos Argelio Arévalo Mercado  
Estela Lizbeth Muñoz Andrade  
Juan Manuel Gómez Reynoso

## REVISIÓN CIENTÍFICA

- **Efectos negativos de la radiación ionizante empleada en diagnóstico odontológico** 81-87  
**Negative effects of ionizing radiation used in dental diagnosis**

Deyanira Serrato  
Renato Nieto-Aguilar  
Asdrúbal Aguilera-Méndez

## OBITUARIO

- **Stephen Hawking. In memoriam** 88-89

J. Jesús López García

## RESEÑA

- **Revolución. Del Homo sapiens al Homo digitalis** 90-92

Ricardo López-León

## Calidad microbiológica de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) para la venta al público

### Coriander's microbiology quality (*Coriandrum sativum* L.) for sale to public

Marisol Santos Fernández\*, Valeria Maldonado Ortega\*, Yisa Ma. Ochoa Fuentes\*\*✉, Ernesto Cerna Chávez\*, Omegar Hernández Bautista\*\*

Santos Fernández, M., Maldonado Ortega, V., Ochoa Fuentes, Y. M., Cerna Chávez, E., & Hernández Bautista, O. (2018). Calidad microbiológica de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) para la venta al público. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 5-9.

#### RESUMEN

Se determinó la calidad microbiológica del cilantro (*Coriandrum sativum* L.) de diversos centros comerciales de Saltillo, Coahuila, México, a través de la determinación de índices microbiológicos. Se empleó la metodología descrita en la norma NOM-112-SSA1-1994 para la determinación de coliformes totales por el NMP, la determinación de parásitos se hizo por concentración y observación directa. Como resultado se obtuvo que los supermercados analizados están fuera de los límites microbiológicos, tanto para coliformes totales como parásitos, siendo *Ascaris lumbricoides* el de mayor presencia. Las muestras de cilantro rebasaron los límites permisibles que marca la norma, posiblemente por carencia en la aplicación de SRRC-SENASICA (México) durante la manipulación previa, así como en la venta.

**Palabras clave:** cilantro; coliformes; *Ascaris lumbricoides*; SRRC; calidad microbiológica.

**Keywords:** coriander; coliforms; *Ascaris lumbricoides*; SRRC; microbiological quality.

Recibido: 6 de octubre de 2017, aceptado: 20 de marzo de 2018

\* Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C. P. 25315, Saltillo, Coahuila, México. Correo electrónico: msantos.fdz@gmail.com; valeriamaldonado7@hotmail.com; yisa8a@yahoo.com; jabaly1@yahoo.com

\*\* Culta, S. A. de C. V. Blvd. Luis Echeverría Álvarez No. 1700, Col. Altavista, C. P. 89880, Cd. Mante, Tamaulipas, México. Correo electrónico: omegarhbautista@gmail.com

✉ Autor para correspondencia

#### ABSTRACT

The microbiological quality of the coriander (*Coriandrum sativum* L.) of several commercial centers of Saltillo, Coahuila, Mexico, was determined by the methodology described in standard NOM-112-SSA1-1994 for determination of total coliforms and the determination of parasites was done by concentration and direct observation. As a result, all supermarkets analyzed are outside the microbiological limits for total coliforms and parasites, with *Ascaris lumbricoides* being the most prevalent. Coriander samples were unsatisfactory at quality levels possibly due to lack of application of SRRC-SENASICA (Mexico) during previous handling, as well as in the market.

#### INTRODUCCIÓN

El cilantro (*Coriandrum sativum* L.) es una planta aromática, usualmente se consume fresco y es fuente de vitamina K (Lo Cantore, Iacobellis, De Marco, Capasso, & Senatore, 2004). En países de América Latina habitualmente se ingiere cruda y por el tipo de cultivo y prácticas de consumo puede presentar un gran número de bacterias entéricas y parásitos que son la causa principal de las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) (Cerón Salgado & Grijalva, 2015). Las ETA representan un peligro para la salud, ya que se producen por el consumo de alimentos contaminados por patógenos y las toxinas que los mismos producen (Ramírez Mérida, Morón de Salim, Alfieri Graterol, & Gamboa, 2009).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2015) en 2010 reportó 600 millones de personas enfermas y 420, 000 muertes por consumir alimentos insalubres.

Los microorganismos aislados causantes de las ETA en productos frescos incluyen bacterias (como *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. y *Shigella* sp.), protozoarios (*Giardia lamblia* y amebas las más comunes), helmintos (*Ascaris lumbricoides* y *Taenia* sp.) y virus (hepatitis A, rotavirus y virus Norwalk) causantes de infecciones gastrointestinales (Arias-Echandi & Antillón, 2000; Hernández Cortez, Aguilera Arreola, Castro, & Escarpulli, 2011). En México, de acuerdo con las cifras expedidas por la Dirección General de Epidemiología (DGE), en 2016 la ETA con mayor incidencia fue la amibiasis, con 155,674 casos reportados; sin embargo, en las cifras emitidas en el reporte de la semana 35 por la misma institución hubo un aumento, llegando a 157,964 en la primera parte del año 2017. También reportan un aumento de todas las demás ETA (con excepción de la helmintiasis, la cual tiene aun cifras menores a la del año anterior) como las producidas por protozoarios, que están reportadas en 53,372 casos, 10,000 más que en 2016 (Secretaría de Salud, 2017).

Debido a la importancia e incremento de las ETA año con año en México y la utilidad de los microorganismos indicadores para evaluar la calidad microbiológica de los alimentos, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar la cantidad de coliformes totales y la presencia de parásitos intestinales del cilantro de diversos centros comerciales de Saltillo, Coahuila, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación fue un estudio descriptivo, transversal, con selección de la muestra no probabilística y al azar en los supermercados de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México. Se tomaron dos supermercados de cadena internacional (A y B), dos supermercados de cadena nacional (C y D) y dos supermercados locales (E y F) y se realizaron dos muestreos con tres repeticiones, con diferencia de tres semanas entre muestreos. Las muestras fueron recolectadas en las condiciones usuales de manipulación y venta al público.

Para la determinación de formas infectantes parasitarias se utilizó la metodología modificada de Traviezo-Valles et al. (2013). Del cilantro recolectado

se pesaron 40 g y fueron colocados en un frasco con 800 ml de agua potable envasada en botellones, previamente hervida durante 1 h para destruir cualquier posible contaminante biológico, el frasco se mezcló por inversión al menos cuatro veces y se dejó en reposo 24 h. Transcurrido el tiempo se retiraron las ramas de cilantro utilizando pinzas estériles y evitando el reflujo del agua, de modo posterior a esto se dejó el agua nuevamente en reposo por 1 h y se decantaron aproximadamente nueve partes del agua con la ayuda de mangueras estériles de goma, para evitar el reflujo. El sedimento del frasco fue resuspendido y distribuido en cuatro tubos cónicos de 50 ml para ser centrifugado por 5 min a 3000 r.p.m. Finalmente, el sedimento fue montado con Lugol para su observación directa.

La cuantificación de coliformes totales se hizo conforme a lo descrito en la Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994 (SSA, 1995) mediante la técnica del número más probable. Se tomaron 25 g de cilantro de cada una de las muestras y fueron colocados en 225 ml de agua peptonada, se realizaron las diluciones seriadas, de las cuales se tomó 1 ml, fue depositado en tubos con caldo de lauril sulfato de sodio con la campana de Durham previamente colocada y se incubaron 48 h a 37 °C. Transcurrido el tiempo de los tubos que presentaron crecimiento y formación de gas, fueron resembrados en caldo bilis verde brillante para la confirmación de coliformes totales e incubados por un periodo de 48 h a 37 °C.

Una vez consignados los datos se le realizó una prueba de normalidad mediante Shapiro-Wilk, los valores de NMP/g se compararon con una prueba de medianas para cada muestreo, se realizó una prueba de Kruskal-Wallis con una insignificancia de 5%, considerando ambos muestreos.

## RESULTADOS

El análisis de coliformes totales determinó que 100% de las muestras procesadas están contaminadas. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos del conteo de coliformes totales en cada uno de los supermercados.

Con base en la prueba Shapiro-Wilk ( $W=0.69802$ ,  $p\text{-value}=2.634e-07$ ) no cumple con los supuestos de normalidad, por lo que se contrastan las medianas; para el primer muestreo el supermercado C de

comercio nacional presentó los valores más bajos, seguido del establecimiento E (local); por otra parte, el supermercado B, perteneciente a una cadena internacional, fue la de mayor riesgo de contaminantes en ambos muestreos. Considerando ambos muestreos, solo se determinó diferencia estadística entre las empresas internacionales A y B, siendo las de menor y mayor NMP/g de coliformes totales, respectivamente.

Se observaron 10 formas infectantes de protozoarios y helmintos, siendo *Ascaris lumbricoides* el de mayor frecuencia. La tabla 2 enlista las especies parasitarias identificadas y la cantidad de formas infectantes encontradas por muestra de cada supermercado.

## DISCUSIÓN

Como se puede apreciar en la tabla 1, ninguno de los supermercados está dentro de los límites permitidos por SRRC (sistema de reducción de riesgos de contaminación en la producción primaria de vegetales) para coliformes totales (figura 1), en donde se señala como límite permisible cero coliformes fecales y máximo dos NMP/g coliformes totales (SENASICA, 2015), siendo los supermercados locales los de mayor riesgo para la salud. De estos resultados, cuatro coinciden con los intervalos obtenidos por Ginestre Pérez et al. (2009), quienes señalan que 96% de las muestras de cilantro analizadas fueron positivas entre 104-109 NMP/g

Tabla 1  
Comparaciones de NMP/g de coliformes totales en cilantro (*Coriandrum sativum* L.) en Saltillo, Coahuila, México

Supermercado	Muestreo 1			Muestreo 2		M. R.**	
	r	mediana	R.I.Q. (25-75)*	r	mediana	R.I.Q. (25-75)*	
A	3	225	(225-250) <sup>c</sup>	3	1075	(1075-1075) <sup>b</sup>	13 <sup>B</sup>
B	3	600	(5625-6000) <sup>a</sup>	3	27500	(19500-27500) <sup>a</sup>	26 <sup>A</sup>
C	3	3	(3-3) <sup>e</sup>	3	11500	(11500-19500) <sup>a</sup>	14 <sup>AB</sup>
D	3	525	(512-612) <sup>b</sup>	3	5250	(2925-5250) <sup>b</sup>	16 <sup>AB</sup>
E	3	100	(100-100) <sup>d</sup>	3	27500	(27500-27750) <sup>a</sup>	18 <sup>AB</sup>
F	3	500	(425-512) <sup>b</sup>	3	27500	(27500-27750) <sup>a</sup>	22 <sup>AB</sup>

Nota: r: repeticiones, R. IQ.: Rango intercuantil, M.R.: Media de rangos, \*: columna con diferente letra estadísticamente significativa, \*\*: Columna con su respectivo centro comercial con diferente letra estadísticamente significativa.

Tabla 2  
Especies parasitarias identificadas en cilantro (*Coriandrum sativum* L.) en el municipio de Saltillo, Coahuila

Parásito	Supermercado					
	A	B	C	D	E	F
<i>Ascaris lumbricoides</i>	3	0	10	24	7	11
<i>Taenia</i> sp	0	0	0	0	0	2
<i>Uncinarias</i> sp	0	0	0	0	1	0
<i>Entamoeba histolytica/dispar</i>	0	0	8	2	7	5
<i>Blastocystis hominis</i>	1	0	0	2	1	0
<i>Entamoeba coli</i>	7	3	2	0	0	3
<i>Endolimax nana</i>	0	0	0	0	26	0

Nota: Elaboración propia.



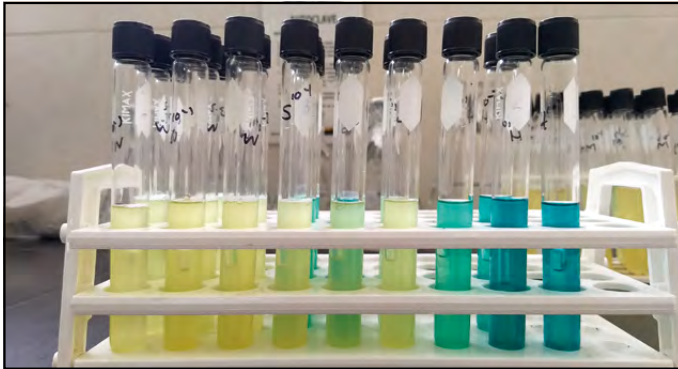


Figura 1. Coliformes totales.  
Fotografía del equipo de investigación.

para coliformes totales; asimismo, los resultados coinciden con lo reportado por Noguera Machado et al. (2016), quienes indican que el promedio de coliformes en muestras de cilantro es de  $1.1 \times 10^4$  NMP/g.

En el análisis parasitológico *Ascaris lumbricoides* fue el de mayor frecuencia (tabla 2), nematodo intestinal de distribución mundial y de los más comunes que afectan al hombre; se transmite por la ingestión de huevos fecundados, las larvas para desarrollarse pasan a través del pulmón para ser deglutidas y llegar nuevamente al intestino, donde logran llevar su madurez hasta la fase adulta (Vásquez Tsuji et al., 2000). Este helminto se ha logrado identificar en muestras de cilantro en otros estudios realizados con un porcentaje de incidencia entre 5 y 10% de todas las muestras (Scorza & Vilchez, 2007; Vilchez & Scorza, 2007); esta variación puede deberse a que, en México, la ascariasis es la segunda infección gastrointestinal más común (Secretaría de Salud, 2017).

Por otra parte, el resto de los parásitos identificados han sido reportados en porcentajes variados que van desde 0 hasta 40% (Fallah, Piralikheirabadi, Shirvani, & Saei-Dehkordi, 2012; Haq, Maqbool, Khan, Yasmin, & Sultana, 2014; Hassan, Ojuromi, & Onyehialam, 2013). Un parásito que es importante resaltar es *Entamoeba coli*, un protozooario no patógeno intestinal humano, debido a que solamente vive en el intestino humano; la presencia de *E. coli* en las verduras es el signo de contaminación con heces humanas, por lo que es probable la existencia de organismos intestinales patógenos en dichas verduras (Daryani, Eftehad, Sharif, Ghorbani, & Ziaei, 2008).

## CONCLUSIONES

Los resultados muestran de forma general el estado sanitario de los vegetales y otros productos alimenticios que se expenden y se consumen con alta frecuencia. Los sitios de muestreo presentaron mínima variación para el recuento de coliformes; sin embargo, se encontraron diferencias en la presencia de formas infectantes parasíticas.

Debido a lo observado se pudo clasificar a la mayoría de las muestras de cilantro como insatisfactorias en la calidad que ofrecen al consumidor. La presencia de coliformes totales y parásitos intestinales indica la falta de buenas prácticas de higiene durante el manejo del producto, así como durante su venta. Es recomendable establecer normas de regulación local del estado sanitario que aseguren la inocuidad de este tipo de alimentos considerados de consumo masivo, así como fomentar la capacitación en lo referente a *buenas prácticas agrícolas* y a *buenas prácticas de manejo* (SENASICA, 2015).

## REFERENCIAS

- Arias-Echandi, M. L., & Antillón, G. F. (2000). Contaminación microbiológica de los alimentos en Costa Rica. Una revisión de 10 años. *Revista Biomédica*, 11(2), 113-122.
- Cerón Salgado, D., & Grijalva, N. (2015). Diagnóstico de indicadores entéricos en cilantro (*Coriandrum sativum*) y perejil (*Petroselinum sativum*) que se expenden en mercados populares del norte de la ciudad de Quito. *Enfoque UTE*, 6(1), 45-54.
- Daryani, A., Etehad, G. H., Sharif, M., Ghorbani, L., & Ziaei, H. (2008). Prevalence of intestinal parasites in vegetables consumed in Ardabil, Iran. *Food control*, 19(8), 790-794.
- Fallah, A. A., Piralí-Kheirabadi, K., Shirvani, F., & Saei-Dehkordi, S. S. (2012). Prevalence of parasitic contamination in vegetables used for raw consumption in Shahrekord, Iran: influence of season and washing procedure. *Food Control*, 25(2), 617-620.
- Ginestre Pérez, M., Romero Añez, S., Rincón Villalobos, G., Castellano González, M., Ávila, R., Colina López, G., & Perozo Mena, A. (2009). Indicadores entéricos en vegetales frescos que se comercializan en mercados populares de Maracaibo. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 29(1), 52-56.
- Haq, S., Maqbool, A., Khan, U. J., Yasmin, G., & Sultana, R. (2014). Parasitic contamination of vegetables eaten raw in Lahore. *Pakistan Journal of Zoology*, 46(5), 1303-1309.
- Hassan, A. A., Ojuromi, O. T., & Onyehialam, O. (2013). Presence of parasitic ova, cysts and larva on common fresh fruits and vegetables sold at some major markets in Ibadan, Oyo State, Nigeria. *The Zoologist*, 11, 40-45.
- Hernández Cortez, C., Aguilera Arreola, M. G., & Castro Escarpulli, G. (2011). Situación de las enfermedades gastrointestinales en México. *Enfermedades infecciosas y microbiología*, 31(4), 137-151.
- Lo Cantore, P., Iacobellis, N. S., De Marco, A., Capasso, F., & Senatore, F. (2004). Antibacterial activity of *Coriandrum sativum* L. and *Foeniculum vulgare* Miller var. *vulgare* (Miller) essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7862-7866.
- Noguera Machado, N., Ojeda Ojeda, L., Mejía, R., Martínez, F., González, D., & Requena, D. (2016). Microbiological and parasitological quality of lettuce (*Lactuca sativa*) and coriander (*Coriandrum sativum*) expended in the Santa Rita Parish, Aragua, Venezuela. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1), 52-64.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). *Estimaciones de la OMS sobre la carga mundial de enfermedades de transmisión alimentaria* [Documento en pdf]. Recuperado de [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/200047/1/WHO\\_FOS\\_15.02\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/200047/1/WHO_FOS_15.02_spa.pdf)
- Ramírez Mérida, L. G., Morón de Salim, A., Alfieri Graterol, A. Y., & Gamboa, O. (2009). Frecuencia de *Listeria monocytogenes* en muestras de tomates (*Lycopersicon esculentum*) y cilantro (*Coriandrum sativum*) frescos en tres supermercados de Valencia, Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(3), 318-324.
- Scorza, J. V., & Vilchez, M. (2007). Recuperación de huevos de *Ascaris lumbricoides* del follaje de hortalizas intencionalmente contaminadas. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 47(2), 191-194.
- Secretaría de Salud. (1995). NOM-112-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. *Diario Oficial de la Federación*, 19 de octubre de 1995.
- Secretaría de Salud. (2017). *Boletín epidemiológico. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Sistema Único de Información*, 34(39). Recuperado de <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/direccion-general-de-epidemiologia-boletin-epidemiologico>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2015). *Sistemas de reducción de riesgos de contaminación (SRRC)* [Página explicativa]. Recuperada de <https://www.gob.mx/senasica/documentos/sistemas-de-reduccion-de-riesgos-de-contaminacion-srrc>
- Traviezo-Valles, L. E., Salas, A., Lozada, C., Cárdenas, E., Martín, J., & Agobian, G. (2013). Detección de enteroparásitos en lechugas que se comercializan en el estado Lara, Venezuela. *Revista Médico-Científica «Luz Vida»*, 4(1), 7-11.
- Vásquez Tsuji, O., Gutiérrez Castrellón, P., Yamazaki Nakashimada, M. A., Arredondo Suárez, J. C., Campos Rivera, T., & Martínez Barbosa, I. (2000). Antihelmínticos como factor de riesgo en la obstrucción intestinal por *Ascaris lumbricoides* en niños. *Boletín chileno de parasitología*, 55(1-2), 3-7.
- Vilchez, M., & Scorza, J. V. (2007). Calidad sanitaria parasitológica de hortalizas cultivadas en La Puerta, municipio Valera, estado Trujillo, Venezuela. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 47(2), 56-59.

## Distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de verdolaga silvestre (*Portulaca oleracea* L.) en la Región Lagunera de Coahuila, México

### Spatial distribution of the probability of occurrence of wild purslane (*Portulaca oleracea* L.) in the Region Lagunera of Coahuila, Mexico

Miguel Ángel Segura-Castruita\*✉, Pablo Yescas-Coronado\*, Jorge Arnaldo Orozco-Vidal\*, Manuel Fortis-Hernández\*, Pablo Preciado-Rangel\*, José Alfredo Montemayor-Trejo\*

Segura-Castruita, M. A., Yescas-Coronado, P., Orozco-Vidal, J. A., Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P., & Montemayor-Trejo, J. A. Distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de verdolaga silvestre (*Portulaca oleracea* L.) en la Región Lagunera de Coahuila, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 10-16.

#### RESUMEN

El interés por introducir verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) como planta cultivable se ha incrementado paulatinamente debido a sus propiedades medicinales. Sin embargo, estudios acerca de su distribución espacial y relación con el tipo de suelo son escasos. Los objetivos del presente trabajo fueron determinar la probabilidad de ocurrencia de verdolaga, así como la relación entre su distribución espacial y las características edáficas en la Región Lagunera. Se obtuvieron datos de presencia/ausencia de esta planta y muestras de suelo superficial de sitios en distintas clases de tierra, y se determinaron las características físicas y químicas de los suelos. Los datos obtenidos se utilizaron para estimar la probabilidad de ocurrencia de verdolaga con una regresión logística y se cartografiaron. Los resultados muestran que la arena, la conductividad eléctrica y el pH influyen en la presencia de la verdolaga y su distribución espacial es diferente, donde los suelos de tierras

blancas arenosas tuvieron la mayor probabilidad de ocurrencia.

#### ABSTRACT

The interest in introducing purslane (*Portulaca oleracea* L.) as a cultivable plant has been increased by its medicinal properties. However, studies of its spatial distribution and relation to the type of soil are scarce. The objectives of this work were to determine the probability of occurrence of purslane, and the relationship between its spatial distribution and the edaphic characteristics in the Region Lagunera. The presence/absence data of purslane and surface soil samples of sites in different land classes were obtained, and determined the physical and chemical characteristics of the soils. The data obtained were used to estimate the probability of occurrence of purslane with a logistic regression and were mapped. The results show that the sand, electrical conductivity and pH influence the presence of the purslane, being its spatial distribution different, where the soils of sandy white land had the greater probability of occurrence.

**Palabras clave:** distribución espacial; interpolación Kriging; *Portulaca oleracea*; regresión logística; clases de tierras.

**Keywords:** spatial distribution; Kriging interpolation; land classes; logistic regression; *Portulaca oleracea*.

Recibido: 15 de agosto de 2017, aceptado: 7 de febrero de 2018

\* División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Torreón, Tecnológico Nacional de México. Antigua carretera Torreón-San Pedro km 7.5, ejido Ana, C. P. 27170, municipio de Torreón, Coahuila, México. Correo electrónico: dmily5@hotmail.com; pyescas@hotmail.com; joorvi66@hotmail.com; fortismanuel@hotmail.com; preciador@yahoo.com.mx; jtmontemayor@hotmail.com

✉ Autor para correspondencia

#### INTRODUCCIÓN

La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) es una especie de planta herbácea comestible, se distribuye en las regiones templadas y tropicales del mundo, y en América se conoce desde épocas precolombinas (Mera-Ovando, Bye-Boettler, & Solano, 2014). Las hojas verdes de esta planta proporcionan antioxidantes, minerales, vitaminas y varios fitoquímicos con propiedades antioxidantes (Alam et al., 2015), entre ellos los ácidos grasos  $\alpha$ -linolénico y  $\beta$ -caroteno (Liu

et al., 2000). *P. oleracea* destaca entre la mayoría de las especies de plantas silvestres comestibles por los escasos requerimientos para su desarrollo, de tal manera que en la actualidad existe un interés renovado por su cultivo (Palaniswamy, Bible, & McAvoy, 2002).

En México, los estados de Baja California, Morelos, y la Ciudad de México cultivan verdolaga comercialmente, con una producción nacional de 6,000 Mg ha<sup>-1</sup>; lo anterior no significa que en el resto del país no crezca verdolaga, en las áreas de cultivo es parte del agrosistema. Aunque se le considera como indeseable o mala hierba, no lo es del todo, pues los agricultores la utilizan con fines alimenticios (Mera-Ovando et al., 2014). La amplia distribución de *P. oleracea* en todo el mundo se debe a su adaptabilidad a diferentes tipos de suelos y ambientes, particularmente a altas temperaturas, suelos salinos (Kafi & Rahimi, 2011), condiciones de sequía (Ren et al., 2011), escasez nutricional, además de su resistencia al frío (Rinaldi, Amadio, & Colelli, 2010).

Por otra parte, es de considerarse que los productores poseen un conocimiento ancestral de sus tierras y que el concepto campesino de tierra, aunque cualitativo, es más amplio que el concepto científico de suelo (Ortiz-Solorio & Gutiérrez-Castorena, 1999); el conocimiento que tienen de este último es detallado, ya que identifican características observables como color, retención de humedad y textura (Ortiz-Solorio, Gutiérrez-Castorena, Licona-Vargas, & Sánchez-Guzmán, 2005); de esta manera, los campesinos o productores sistematizan este conocimiento en una clasificación de tierras (Licona-Vargas, Ortiz-Solorio, Gutiérrez-Castorena, & Manzo-Ramos, 2006) y relacionan la presencia de diversas plantas silvestres con alguna clase de ellas (Ortiz-Solorio & Gutiérrez-Castorena, 2001).

Las clases de tierra son cartografiables (Barrera-Bassols, Zinck, & Van Ranst, 2006). Al respecto, Segura-Castruita et al. (2012) indican que los mapas de clases de tierra (MCT) pueden utilizarse como base para el análisis de suelos. Lo anterior permite deducir que la distribución espacial de verdolaga en una región árida se relacionaría con las características de los suelos de las clases de tierra que los campesinos de la región hayan identificado; no obstante, esta situación ha sido escasamente reportada. La delimitación de áreas potenciales para el desarrollo de plantas en función de las características de una región, si se tiene como base un MCT, es importante para la definición de planes de manejo (Licona-Vargas et al., 2006).

Uno de los esquemas metodológicos que se han empleado para establecer la distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de una especie de planta es la combinación del modelo de regresión logística (MRL) binaria y la cartografía asistida por computadora, a partir de datos de mapas de dependencias oficiales (Segura-Castruita et al., 2014). No obstante, la precisión podría incrementarse si los datos edáficos se obtienen de muestras de suelo recolectadas al momento de la verificación de la existencia de las plantas en campo. En función de lo anterior, si la obtención de las muestras de suelo y la verificación de una especie de planta (presencia o ausencia) se realizan en sitios de muestreo ubicados en forma aleatoria, basadas en un mapa de clases de tierra en una región árida, la precisión de los mapas de probabilidad de ocurrencia de la especie aumentaría.

Los objetivos del presente estudio fueron: (1) determinar la distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de *P. oleracea* y (2) cartografiar la distribución de la especie, tomado como base un mapa de clases de tierra de un área de cultivo de la Región Lagunera de Coahuila y verificar su precisión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza entre los 25° 40' - 25° 46' N y los 102° 56' - 103° 08' O, con altitud promedio de 1,120 m, en una superficie de 75,155.49 ha, que corresponde a una parte de suelos cultivados del municipio de San Pedro, Coahuila (figura 1).

El clima es de tipo Bw(h')hw(e): seco desértico cálido con un régimen de lluvias en verano con oscilación extrema. La precipitación media anual es de 250 mm, concentrada en los meses de junio a septiembre. Esta precipitación contrasta con la elevada evaporación media anual de 2,400 mm (García, 2004). El material parental está constituido por sedimentos aluviales del Cuaternario y se han identificado dos grupos de suelo (Calcisoles y Fluvisoles) a los que corresponden cuatro clases de tierras (Segura-Castruita et al., 2012).

El trabajo inició en el ciclo agrícola primavera-verano 2016 y concluyó en el de primavera 2017, consistió en cinco etapas:

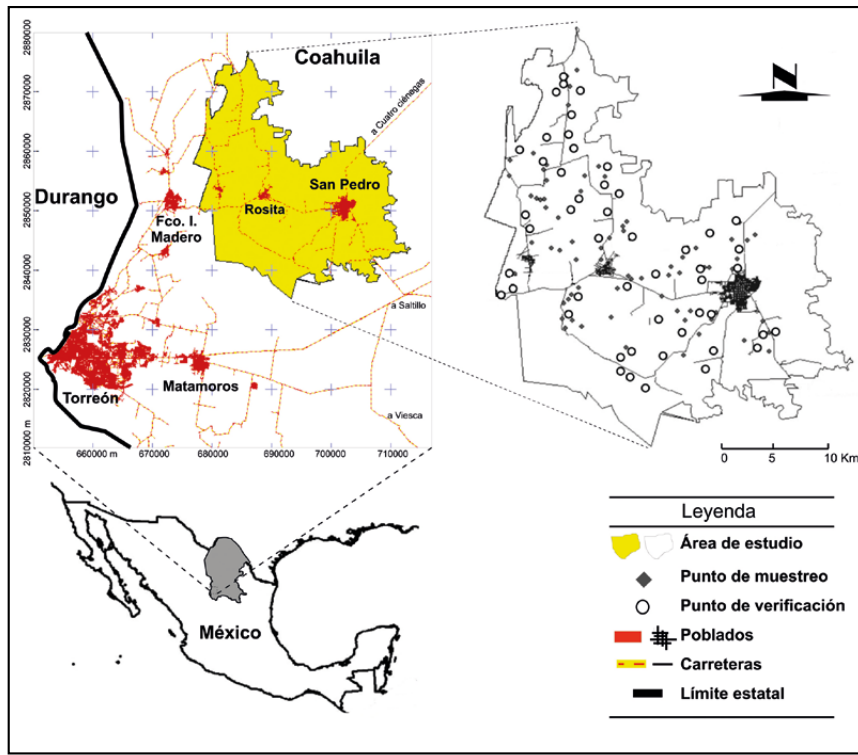


Figura 1. Localización del área de estudio.  
Elaboración propia.

- 1) Selección de sitios de muestreo de plantas y suelos. Un mapa de clases de tierra (Segura-Castruita et al., 2012) del área de estudio se utilizó para ubicar sitios de muestreo. El tamaño de muestra (Schabenberger & Pierce, 2002) fue de 72 sitios, distribuidos de forma aleatoria en cuatro clases de tierras [Blanca (Bl), Blanca arenosa (Ba), Prieta (Pr) y Negra (N)] que se utilizan para cultivo; cada clase tuvo 18 sitios de muestreo, se tuvo la precaución de que una unidad cartográfica de cada clase no tuviera más de un sitio; es decir, que se encontraran dispersos en la zona de estudio. En cada sitio se registró la ubicación geográfica, se verificó la existencia o ausencia de verdolaga y se colectó una muestra de suelo (2 kg aprox.) de la capa arable (0-30 cm de profundidad), independientemente de la presencia o ausencia de la especie. Las muestras de verdolaga y de suelo se trasladaron a laboratorio.
- 2) Análisis de suelos. Las muestras de suelo se secaron a la sombra a temperatura ambiente, posteriormente se molieron y tamizaron. Las determinaciones físicas y químicas fueron: análisis mecánico de partículas (porcentajes de arena [A], limo [L] y arcilla [R]), densidad aparente (Da), pH y conductividad eléctrica (CE), características que se

relacionan con el desarrollo de las plantas de verdolaga (Kafi & Rahimi, 2011; Ren et al., 2011). Los análisis se realizaron siguiendo el Manual de Van Rieuwijk (2006).

- 3) Cartografía de la probabilidad de ocurrencia. Los datos de suelo estimados en una etapa anterior y la presencia o ausencia de *Portulaca* conformaron atributos que se utilizaron para generar una base de datos. Además, se estimaron los coeficientes de la regresión lineal múltiple (RLM) con el método de máxima verosimilitud, entre la variable dependiente (presencia de verdolaga) con las variables independientes (edáficas) y, posteriormente, con el método de regresión escalonada (RE), procedimiento de selección hacia adelante, se determinaron las variables con significancia estadística ( $p \leq 0.05$ ) en el desarrollo de verdolaga; es decir, se obtuvieron dos combinaciones lineales. Enseguida, la probabilidad de ocurrencia de verdolaga en cada punto de muestreo se obtuvo con el MRL binario de la ecuación (1), ya que permite asociar una variable dependiente con dos posibles valores (presencia o ausencia), con variables independientes (variables edáficas), utilizando la combinación lineal con mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

$$p(v) = \frac{e^z}{(1+e^z)} \quad (1)$$

donde  $p(v)$  es la probabilidad de ocurrencia de verdolaga,  $z$  es la combinación lineal de las diferentes variables en el estudio. La probabilidad de presencia de verdolaga en cada punto georreferenciado sirvió para actualizar la base de datos, siendo un atributo más. Los puntos georreferenciados y el atributo de probabilidad se utilizaron para realizar una interpolación con el modelo Inverse Distance Weighted (IDW) (Cruz-Cárdenas et al., 2010), con el software Arcgis 10.3.

- 4) Verificación de la precisión de los mapas. En cada clase de probabilidad se seleccionaron cinco sitios distribuidos aleatoriamente y se anotaron las coordenadas geográficas para posteriormente realizar la verificación en campo como lo indican Segura-Castruita et al. (2014), para lo cual se revisó solamente la presencia de plantas (sin considerar la abundancia o cantidad) en un área de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m) alrededor del punto georreferenciado. El recorrido en campo se realizó un año después de la colecta, en el mismo periodo o mes con el fin de tener condiciones ambientales similares a las del muestreo. El análisis se realizó en un sentido discreto; es decir, acierto o error, se calculó el porcentaje de aciertos y se generó una matriz de precisión.
- 5) Análisis estadístico. Los resultados de las características del suelo y la presencia de verdolaga se sometieron a un análisis de varianza y se realizó una comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Adicionalmente, los datos se relacionaron con las características de los suelos para determinar la

presencia o ausencia de la especie con un MRL. Dichos procedimientos se realizaron en el programa Minitab 17.

## RESULTADOS

Las clases de tierra tuvieron efectos significativos ( $p \leq 0.05$ ) en la presencia de *Portulaca oleracea* L.; las tierras donde se encontró a esta especie fueron *Bl* y *Ba*, principalmente. Los suelos de las cuatro clases mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en los contenidos de *A* y *R*, *Da* y *CE* (tabla 1). Por otra parte, la presencia de plantas de verdolaga por clase, fue diferente (tabla 1). Además, en menos de la mitad de los sitios de muestreo se detectó esta especie de planta, su ocurrencia en función de las clases de tierra presentó el siguiente comportamiento:  $Ba > Bl > N > Pr$ .

El análisis de regresión entre la presencia de verdolaga y las características de los suelos de las clases de tierra, indicó que *A*, *CE* y *pH* están asociadas a la ocurrencia de la especie ( $p \leq 0.05$ , Tabla 2).

Por otra parte, la RLM de todas las variables con respecto a la presencia de verdolaga tuvo un valor de  $R^2$  de 0.34 menor que la regresión escalonada ( $R^2 = 0.7653$ ), lo cual indica que el segundo modelo es el más viable en el MRL.

La regresión logística dio como resultado diferentes probabilidades de ocurrencia para verdolaga, que variaron desde 6 hasta 88% (Tabla 3). No obstante, los valores de probabilidad no se distribuyeron uniformemente (figura 2).

Tabla 1  
Características edáficas y frecuencias de presencia de las plantas de verdolaga en las clases de tierra

Clase de tierra (CT)	A* (%)	L (%)	R (%)	Da (g cm <sup>-3</sup> )	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	N	P	A	FO (%)
<i>Pr</i>	22 c	40 c	38 a	1.35 b	7.6 c	0.59 b	18	4	14	22.2
<i>N</i>	29 a**	38 d	33 b	1.36 b	7.9 b	0.72 b	18	5	13	27.7
<i>Bl</i>	9 d	62 a	29 c	1.36 b	7.6 c	0.62 b	18	10	8	55.5
<i>Ba</i>	24 b	54 b	22 d	1.48 a	8.2 a	4.38 a	18	15	3	83.3
<i>DSH</i>	0.09	1.97	1.99	0.03	0.19	0.32				
<i>Total</i>							72	34	38	47.3

Nota: \*A: arena, L: Limo, R: arcilla, Da: densidad aparente, CE: conductividad eléctrica, CT: clase de tierra. N: tamaño de muestra, P: presencia, A: ausencia, FO: frecuencia de ocurrencia.

\*\*Letras distintas en la misma columna reflejan diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ), DHS: Diferencia significativa honesta ( $p \leq 0.05$ ).

Elaboración propia.

Tabla 2  
Coeficientes de regresión de la presencia de verdolaga en función de las características edáficas

Variable	RLM			RE		
	$\beta^*$	E	P	$\beta$	E	P
Intercepto	-3.520	8.540		-29.100	13.200	
A (%)	-0.066	0.029	0.023	-0.105	0.046	0.015
L (%)	-0.045	0.025	0.081	-	-	-
R (%)	-0.032	0.024	0.187	-	-	-
Da (g cm <sup>-3</sup> )	0.320	1.210	0.790	-	-	-
pH	0.545	0.217	0.014	3.84	1.78	0.019
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0.157	0.063	0.016	0.54	0.29	0.045

Nota: \* $\beta$ : coeficiente de regresión, E: error, P: probabilidad de rechazo ( $p \leq 0.05$ ),  
RLM: regresión lineal múltiple, RE: regresión escalonada.  
Elaboración propia.

Tabla 3  
Clases de probabilidad de ocurrencia de *P. oleracea*, área que ocupan y matriz de validación del mapa de ocurrencia

Clase de Probabilidad (%)	Área (ha)	N*	Acierto	Error	Precisión (%)
0 – 10	1 678.88	5	2	3	40
10 – 20	10 508.13	5	3	2	60
20 – 30	14 033.16	5	3	2	60
30 – 40	19 555.65	5	4	1	80
40 – 50	12 643.11	5	4	1	80
50 – 60	7 466.58	5	4	1	80
60 – 70	3 677.94	5	5	-	100
70 – 80	2 736.81	5	5	-	100
80 – 90	2 880.18	5	5	-	100
90 – 100	995.04	5	5	-	100
Total	75 155.49	50	40	10	80

Nota: \*N: número de muestras.  
Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

Los suelos de las clases *Ba* y *Bl*, donde se distribuye principalmente *P. oleracea*, se han clasificado dentro de la subunidad *Calcisoles hapli-áridicos*. En cambio, las *Pr* y *N* se clasifican dentro de las subunidades *Fluvisoles hapli-áridicos* y *Fluvisoles calci-áridicos*, respectivamente (Segura-Castruita et al., 2012), suelos que poseen características contrastantes. Los *Calcisoles* se caracterizan por el alto contenido de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) secundario, por efecto de las condiciones áridas; mientras que los *Fluvisoles* tienen materiales flúvicos; es decir, formados por sedimentos fluviales que reciben material recién

te o lo han recibido en el pasado y todavía muestran estratificación (IUSS Working Group WRB, 2015). Al respecto, Brady y Weil (2008) mencionan que las características físicas y químicas de los suelos influyen en la presencia o ausencia de las plantas. En el presente estudio se encontró que la relación entre la textura (por el incremento en el contenido de arcilla) y la presencia de la verdolaga fue significativa; mientras que el alto contenido de arena también favoreció su presencia, como lo mencionan Blázquez y Carbó (2015). La presencia de *Portulaca oleracea* se ha registrado en sitios con pH desde ácidos hasta alcalinos y en pH desde neutros hasta ligeramente alcalinos, como en zonas áridas (Kafi & Rahimi, 2011).

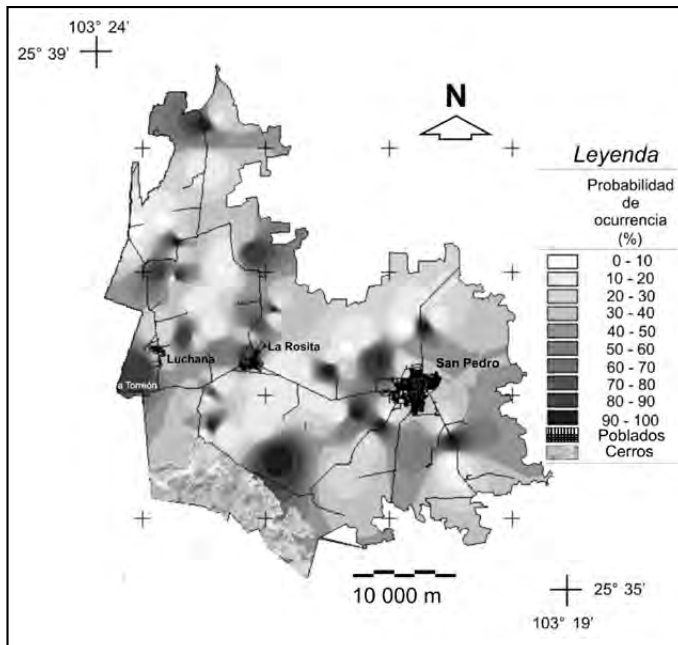


Figura 2. Mapa de probabilidades de ocurrencia de *P. oleracea* en San Pedro, Coah., México. Elaboración propia.

Por otra parte, la verdolaga es tolerante a la salinidad; así que se desarrolla en ambientes no salinos ( $< 2 \text{ dsm}^{-1}$ ) o CE entre 2 y  $6.8 \text{ dsm}^{-1}$ , que se consideran como moderadamente salinos (Teixeira & Carvalho, 2009).

Los resultados anteriores explican por qué las características edáficas del área de estudio influyeron de manera diferente en la distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de la verdolaga; aunque en el modelo lineal el signo de los coeficientes de las tres variables que influyeron en la presencia de la especie fueron diferentes. La arena tuvo un coeficiente con signo negativo, mientras que en la CE y el pH el mismo fue positivo. En este sentido, el signo de los coeficientes indica el incremento o decremento de la probabilidad de ocurrencia de la especie vegetal; es decir, cuando el signo es negativo, al incrementarse la variable independiente la probabilidad de ocurrencia disminuye; en cambio, con el signo positivo, al aumentar la variable, la probabilidad se incrementa (Segura-Castruita et al., 2014). Lo anterior sugiere que la verdolaga puede encontrarse en cualquier suelo agrícola de San Pedro, y se puede deducir que el incremento en el porcentaje de arena más allá del promedio de las tierras Ba y B1 podría disminuir la probabilidad de ocurrencia de *P. oleracea*, mientras que el aumento de la CE y el pH

la incrementarían. Esta especie de planta responde a condiciones de estrés hídrico y por salinidad con un mecanismo de defensa enzimático que produce bioactivos; por tanto, esta especie tolera incrementos en la salinidad del suelo mayores que  $6.8 \text{ dS m}^{-1}$  (Alam et al., 2015; Yazici, Türkan, Sekmen, & Demiral, 2007); situación que predijeron los coeficientes positivos de las variables CE y pH en el modelo de regresión logística, lo que indica la validez de este modelo.

La precisión del mapa de probabilidad de ocurrencia de verdolaga fue ligeramente superior al de otros mapas predictivos (76.2%) validados con información de campo (Segura-Castruita et al., 2014). Al respecto, van Horsen, Pebesma y Schot (2002) mencionan que la calidad y cobertura de datos espaciales pueden afectar el resultado de la cartografía, situación que explicaría el incremento de la precisión en el presente estudio, ya que los datos edáficos se obtuvieron de muestras de suelo que se tomaron en campo al momento de la verificación de presencia de la planta.

## CONCLUSIONES

La utilización de mapas de clases de tierras campesinas para la ubicación de sitios para la verificación de la ocurrencia de *Portulaca oleracea* y el muestreo de suelo permitieron determinar que la presencia de esta planta se relaciona con el porcentaje de arena, pH y CE de los suelos agrícolas en una región árida. Al utilizar una función lineal múltiple con dichas características (variables independientes) y la presencia de verdolaga (variable dependiente), en el modelo de regresión logística, se obtiene la estimación de la probabilidad de ocurrencia de esta planta con una precisión cartográfica de 80%. Aun cuando no se verificó la calidad fitoquímica de la verdolaga silvestre en los suelos analizados, se requiere de mayor investigación para verificar si la distribución espacial de *P. oleracea* está relacionada con su capacidad antioxidante y contenido de ácidos grasos.

Por otra parte, el esquema metodológico que se presentó en este trabajo es una alternativa aplicable para la definición de áreas de ocurrencia de una especie de planta en función de las características edáficas de lugares donde las características climáticas permanecen como constantes. Asimismo, los resultados presentan áreas potenciales para el cultivo de *P. oleracea* en la Región Lagunera.



REFERENCIAS

- Alam, M. A., Juraimi, A. S., Rafi, M. Y., Hamid, A. A., Aslani, F. & Alam, M. Z. (2015). Effects of salinity and salinity-induced augmented bioactive compounds in purslane (*Portulaca oleracea* L.) for possible economical use. *Food Chemistry*, 169, 439-447.
- Barrera-Bassols, N., Zinck, J. A., & Van Ranst, E. (2006). Local soil classification and comparison of indigenous and technical soil maps in Mesoamerican community using spatial analysis. *Geoderma*, 135, 140-162.
- Blázquez, M. A., & Carbó, E. (2015). Control of *Portulaca oleracea* by boldo and lemon essential oils in different soils. *Industrial Crops and Products*, 76, 515-521.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils*. (14th. ed.). Upper Saddle River, NJ, US: Pearson-Prentice Hall.
- Cruz-Cárdenas, G., Ortiz-Solorio, C. A., Ojeda-Trejo, E., Martínez-Montoya, J. F., Sotelo-Ruiz, E. D., & Licona-Vargas, A. L. (2010). Evaluation of four digital classifiers for automated cartography of local soil classes based on reflectance and elevation in Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 31(3), 665-679.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. D. F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- IUSS Working Group WRB. (2015). *World Reference Base for Soil Resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. Rome, Italy: FAO.
- Kafi, M., & Rahimi, Z. (2011). Effect of salinity and silicon on root characteristics, growth, water status, proline content and ion accumulation of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Soil Science and Plant Nutrition*, 57(2), 341-347.
- Licona-Vargas, A. L., Ortiz-Solorio, C. A., Gutiérrez-Castorena, M. C., & Manzo-Ramos, F. (2006). Clasificación local de tierras y tecnología del policultivo café-plátano para velillo-sombra en comunidades cafetaleras. *Terra Latinoamericana*, 24(1), 1-7.
- Liu, L., Howe, P., Zhou, Y. F., Xu, Z. Q., Hocart, C., & Zhan, R. (2000). Fatty acids and beta-carotene in australian purslane (*Portulaca oleracea*) varieties. *Journal of Chromatography A*, 893(1), 207-213.
- Mera-Ovando, L. M., Bye-Boettler, A., & Solano, M. L. (2014). La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.). Fuente natural de Omega 3 y Omega 6. *Agroproductividad*, 7(1), 3-7.
- Ortiz-Solorio, C. A., & Gutiérrez-Castorena, M. C. (1999). Evaluación taxonómica de sistemas locales de clasificación de tierras. *Terra Latinoamericana*, 17(4), 277-286.
- \_\_\_\_\_ (2001). La etnoedafología en México, una visión retrospectiva. *Etnobiología*, 1(1), 44-62.
- Ortiz-Solorio, C. A., Gutiérrez-Castorena, M. C., Licona-Vargas, A. L., & Sánchez-Guzmán, P. (2005). Contemporary influence of indigenous soil (Land) classification in Mexico. *Eurasian Soil Science*, 38, S89-S94.
- Palaniswamy, U. R., Bible, B. B., & McAvoy, R. J. (2002). Effect of Nitrate: Ammonium Nitrogen Ratio on Oxalate Levels of Purslane. En J. Janick & A. Whipkey (Eds.), *Trends in new crops and new uses* (pp. 453-455). Alexandria, VA: ASHS Press.
- Ren, S., Weeda, S., Akande, O., Guo, Y., Rutto, L., & Mebrahtu, T. (2011). Drought tolerance and AFLP-based genetic diversity in purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of Biotech Research*, 3(1), 51-61.
- Rinaldi, R., Amodio, M. L., & Colelli, G. (2010). Effect of temperature and exogenous ethylene on the physiological and quality traits of purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 58(2), 147-156.
- Schabenberger, O., & Pierce, F. J. (2002). *Contemporary statistical models for the plants and soil science*. Boca Raton, FL: CRC Press LLC.
- Segura-Castruita, M. A., Huerta-García, A., Fortis-Hernández, M., Montemayor-Trejo, J. A., Martínez-Corral, L., & Yescas-Coronado, P. (2014). Cartografía de la probabilidad de ocurrencia de *Atriplex canescens* en una región árida de México. *Agrociencia*. 48(6): 639-652.
- Segura-Castruita, M. A., Martínez-Corral, L., García-Barrientos, E., Huerta-García, A., García-Hernández, J. L., Fortis-Hernández, M.,... Preciado-Rangel, P. (2012). Localization of local soil classes in an arid region of Mexico, using satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 33(1), 184-197.
- Teixeira, M., & Carvalho, I. S. (2009). Effects of salt stress on purslane (*Portulaca oleracea*) nutrition. *Annals of Applied Biology*, 154(1), 77-86.
- Van Horssen, P. W., Pebesma, E. J., & Schot, P. P. (2002). Uncertainties in spatially aggregated predictions from a logistic regression model. *Ecological Modelling*, 154(1-2), 93-101.
- Van Reeuwijk, L. P. (2006). *Procedures for soil analysis* (7th. ed.). Tech. Pap. 9. Wageningen, Netherlands: ISRIC-World Soil Information.
- Yazici, I., Türkan, I., Sekmen, A. H., & Demiral, T. (2007). Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower levels lipid peroxidation and proline accumulation. *Environmental and Experimental Botany*, 61(1), 49-57.

## Caracterización de consumidores agroindustriales de carne de pequeños rumiantes en el Estado de México

### Characterization of agroindustrial consumers of small ruminants meat in the State of Mexico

Jaime Mondragón-Ancelmo\*, Patricia García-Hernández\*, Luis Alejandro Rojas-Sandoval\*, Ignacio Arturo Domínguez Vara\*\*, Germán Gómez-Tenorio\*, Samuel Rebollar Rebollar\*✉

Mondragón-Ancelmo, J., García-Hernández, P., Rojas-Sandoval, L. A., Domínguez Vara, I. A., Gómez-Tenorio, G., & Rebollar Rebollar, S. (2018). Caracterización de consumidores agroindustriales de carne de pequeños rumiantes en el Estado de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 17-24.

#### RESUMEN

Se caracterizó a los consumidores agroindustriales (CAI) de pequeños rumiantes para carne (PRC) en el Estado de México. Con una encuesta semiestructurada se obtuvo información sociodemográfica, de comercialización e importancia de los atributos de los PRC (peso vivo, sexo, raza, entre otros). Los datos se analizaron con la técnica de componentes principales, prueba de Tukey y Kruskal-Wallis. De acuerdo con su similitud entre objetos (73.3% de la varianza total y  $KMO=0.802$ ), se obtuvieron tres grupos de CAI: Grupo 1. Barbacoyero urbano, Grupo 2. Barbacoyero/birriero rural, y Grupo 3. Carnicero. Los Grupos 1 y 3 adquirieron animales de menor peso ( $p < 0.05$ ) y el Grupo 3 pagó 7% más del precio de los animales con respecto a los grupos 1 y 2 ( $p < 0.05$ ). Se evidenció que existen tres grupos de CAI que difieren en sus características y exigencias de los atributos de calidad de los PRC.

**Palabras clave:** carne; ovinos; caprino; análisis de componentes principales; barbacoyero; birriero.

**Keywords:** meat; sheep; goats; principal component analysis; barbacoyero; birriero.

Recibido: 18 de octubre de 2017, aceptado: 5 de marzo de 2018

\* Centro Universitario Temascaltepec, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca-Tejupilco km. 67.5, Barrio de Santiago, C. P. 51300, Temascaltepec de González, México. Correo electrónico: jaimemond\_01@hotmail.com; garciahernandezp@yahoo.com.mx; lars23x@gmail.com; gomte61@yahoo.com.mx; samrere@hotmail.com

\*\* Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México. Campus universitario El Cerrillo, C. P. 50090, Toluca, México. Correo electrónico: igy92@hotmail.com

✉ Autor para correspondencia

#### ABSTRACT

The agroindustrial consumers (AIC) of small ruminants for meat (SRM) were characterized in the State of Mexico. With a semi-structured survey, sociodemographic information, about commercialization and importance of the attributes of the SRM (live weight, sex, race, among others) was obtained. The data were analyzed with the technique of principal components, Tukey test and Kruskal-Wallis. According to their similarity between objects (73.3% of the total variance and  $KMO=0.802$ ), three groups of CAI were obtained: Group 1. Urban barbacoyero, Group 2. Rural barbacoyero/birriero, and Group 3. Butcher. Groups 1 and 3, acquired animals of lower weight ( $p < 0.05$ ) and Group 3, paid 7% more than the price of animals with respect to groups 1 and 2 ( $p < 0.05$ ). It was evidenced that there are three groups of AIC that differ in their characteristics and demands of the quality attributes of the SRM.

#### INTRODUCCIÓN

En México, la producción de carne de ovinos y caprinos participa con 4% de la carne que se produce en el país (SIAP, s. f.), esto se traduce en una relevancia económica y social. Se trata de un sector heterogéneo, en el que conviven diferentes grados de desarrollo y escenarios de cría, que van desde producción familiar hasta producción tecnificada e industrial (Galaviz-Rodríguez et al., 2011; Juárez-Morales et al., 2012; Nuncio-Ochoa, Nahed, Díaz Hernández, Escobedo Amezcua, & Salvatierra Izaba, 2001). Lo anterior favorece una variación en los atributos

intrínsecos y extrínsecos de la carne que influyen en la aceptación del producto por el consumidor (Fonti-Furnols & Guerrero, 2014), aunado a los patrones de consumo, como diversificación en el estilo de vida del consumidor (Bernués, Ripoll, & Panea, 2012), influencia de factores geográficos, culturales, climáticos y económicos (Nam, Jo, & Lee, 2010).

Los procesos de producción, industrialización, comercialización, preparación y consumo de alimentos se han convertido en factores determinantes de la calidad de los productos cárnicos que se ofrecen al consumidor final (Nam et al., 2010). Los pequeños rumiantes para carne (PRC) recorren una larga cadena de producción para llegar al plato: desde el productor de animales hasta el consumidor final (Mondragón-Ancelmo et al., 2014; Rebollar et al., 2007). En cada uno de los eslabones de producción de esta cadena se consideran diferentes atributos de calidad intrínseca como son los aspectos físicos: raza, sexo, color, tamaño, peso, salud, apariencia de la carne, etc., y extrínseca, como son los aspectos de producción y/o elaboración: marca, sello de calidad, origen, embalaje, información de producción, bienestar animal, entre otros (Bernués, Olaizola, & Corcoran, 2003).

El Estado de México es un caso representativo, en esta zona se comercializan ovinos y caprinos para carne que son de producción local o de otros estados del país (Mondragón-Ancelmo et al., 2014; Rebollar et al., 2007). El consumo de carne de pequeños rumiantes oscila entre los 400 y los 700 g/año (SIAP, s. f.). La mayor parte de esta carne se consume en forma de barbacoa/birria<sup>1</sup> y en los últimos años los consumidores agroindustriales (CAI) han incursionado en la elaboración de cortes de carne de alto valor, debido al conocimiento desarrollado a partir de las necesidades de sus clientes. En consecuencia, los CAI tienen exigencias particulares sobre los atributos de calidad que deben reunir los animales *in vivo*. Por tanto, el objetivo de este estudio fue determinar las características de los consumidores agroindustriales de ovinos y caprinos para carne en el Estado de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 2015 en la zona sur, norte, este y poniente del Estado de México; entidad reconocida como la primera en acopio, transformación y comercialización de PRC a nivel nacional (comunicación personal: Raúl Conde García, presidente de la Asociación de Barbacoyeros de Capulhuac, Estado de México). Se realizó un muestreo por intención a 67 propietarios de los establecimientos que comercializan carne en forma de barbacoa, birria, canales o cortes (Cochran, 1984).

A partir de la aplicación de una encuesta semiestructurada a 67 propietarios se obtuvo información sociodemográfica (edad, escolaridad, años en la actividad y tipo de agroindustria) y de comercialización (peso y precio de compra de los animales en pie, venta y precio del producto procesado al consumidor final). También se reunió información acerca de la importancia de los atributos de ovinos y caprinos *in vivo* como especie, peso vivo, sexo, raza, edad, salud, alimentación, sin anabólicos, precio, bienestar animal y procedencia (Bernués et al., 2003; Bernués et al., 2012) a través de una escala actitudinal de Likert con opciones de respuesta (1. Nada importante a 5. Muy importante) (Kinnear & Taylor, 1993).

La información de las encuestas se analizó con el software IBM SPSS Statistics versión 22. Se utilizaron técnicas de análisis multivariado factorial y de conglomerados. El análisis factorial se aplicó a las preguntas relacionadas con el nivel de importancia de los atributos de tipo ordinal; en esta técnica pueden obviarse los supuestos de linealidad y normalidad en las variables mientras se cuente con un mínimo de 50 observaciones (Hair, Anderson, Tatham, & Black, 1999). El método de componentes principales se utilizó para extraer factores y el índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) para medir la correlación entre las variables; KMO: 1= alta,  $\geq 0.9$ = buena,  $\geq 0.8$ = notable,  $\geq 0.7$ = mediana,  $\geq 0.6$ = baja y  $< 0.5$ = muy bajo. La prueba de esfericidad de Bartlett se utilizó para evaluar la aplicabilidad del análisis factorial de las variables estudiadas: Si Sig. (*p*-valor)  $< 0.05$  (se acepta hipótesis nula), se puede aplicar el análisis factorial. Si Sig. (*p*-valor)  $> 0.05$  (se rechaza la hipótesis nula), no se puede aplicar el análisis factorial (Hair et al., 1999).

Los factores seleccionados fueron los que presentaron valores propios  $\geq 1$ . Con el fin de obtener

<sup>1</sup> Barbacoa: producto obtenido de la carne cocinada en hoyo u horno precalentado. Los insumos básicos son penca de maguey, ajo, cebolla, chile, agua y carne de ovino. Birria: producto obtenido de la carne cocinada en perol. Los insumos básicos son salsa de chile, agua y carne de caprino. Los ingredientes y el proceso de preparación dependerán de cada cocinero y de las costumbres de cada región.

una mejor comprensión de los factores se aplicó una rotación ortogonal Varimax, es la más utilizada, la cual consigue que cada componente rotado presente correlaciones solamente con unas cuantas variables, y es adecuada cuando el número de componentes es reducido. Los puntajes de los factores se estimaron por el método de regresión y se utilizaron como nuevas variables para el análisis de conglomerados (Hair et al., 1999).

Para identificar perfiles de CAI de acuerdo con las actitudes de importancia hacia los atributos de los animales (Hair et al., 1999), se realizó un análisis de conglomerados jerárquicos con el método de Ward con medida de similitud entre objetos. Los grupos obtenidos se definieron por sus características socio-demográficas y de comercialización. Finalmente se aplicaron técnicas de análisis bivariado para observar posibles cambios significativos entre las variables de muestras independientes: prueba de Tukey para las variables sociodemográficas y de comercialización, y Kruskal-Wallis para la variable de atributos de los animales (Daniel, 2005; Hair et al., 1999).

## RESULTADOS

A partir del análisis factorial se obtuvieron tres factores que explicaron 73.3% de la varianza total. La prueba de esfericidad de Bartlett ( $p < 0.001$ ) y KMO= 0.802 indican que las variables incluidas en el análisis

están significativamente correlacionadas entre sí (tabla 1). El primer factor, denominado atributos intrínsecos, relaciona las variables de peso, sexo, raza y edad de los animales y bienestar animal, atributos que contribuyen a lograr mayor calidad del producto destinado a consumidores finales exigentes. El segundo factor, denominado atributos extrínsecos, incluye factores como el respeto por el bienestar de los animales, así como la preferencia por la no adición de anabólicos en la alimentación de los animales, práctica que genera desconfianza y posibles daños a la salud del consumidor final. Entre estos atributos extrínsecos también destacó la preferencia por precios bajos como decisor de compra. El tercer factor se denominó especie, y está relacionado con la preferencia que el CAI tiene por ciertas especies, de acuerdo con el destino final de la carne (birria, barbacoa, canales o cortes). Estos resultados ponen en evidencia que de acuerdo con las actitudes de los CAI, los sistemas de producción de PRC deberán buscar esquemas de diferenciación del producto enfocados en atributos intrínsecos, extrínsecos y especie animal.

El análisis de clúster realizado con variables de distancia de las puntuaciones de factores de los CAI con respecto a los tres factores relacionados con las actitudes sugiere que hay tres grupos de CAI: Grupo 1, barbacoyero urbano 31 (46%), Grupo 2, barcoyero/birriero rural 26 (39%) y Grupo 3, carnicero 10 (15%) (tabla 2).

Tabla 1  
Matriz de factores rotados del consumidor agroindustrial de pequeños rumiantes para carne

Atributos del animal	Componentes		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Peso	<b>0.935</b>	0.075	-0.033
Sexo	<b>0.915</b>	0.042	0.030
Raza	<b>0.884</b>	0.126	-0.053
Edad	<b>0.776</b>	0.271	-0.191
Procedencia	-0.384	<b>0.797</b>	0.246
Sin anabólicos	0.286	<b>0.691</b>	-0.068
Precio	-0.291	<b>-0.648</b>	-0.191
Alimentación	0.072	<b>0.626</b>	<b>-0.509</b>
Bienestar animal	<b>0.558</b>	<b>0.596</b>	0.178
Especie	-0.059	0.187	<b>0.873</b>
Variancia por factor (%)	41.74	20.51	11.13
Varianza acumulada (%)	41.74	62.25	73.37

Nota: Elaboración propia.

Las características sociodemográficas y de comercialización de los grupos de CAI se indican en la tabla 2. El Grupo 1 elabora y comercializa barbacoa de carne de ovino o caprino, o combinación de carne de ambas especies; estos CAI se encuentran principalmente en las rutas, vías públicas, mercados y en restaurantes ubicados en las entradas o dentro de las principales ciudades del Estado de México. Asisten a posibles consumidores finales con mayor poder adquisitivo y exigencia en la calidad del servicio. El Grupo 2 son CAI tradicionales de barbacoa (elaborada con carne de ovinos) o birria (elaborada con carne de caprinos), se encuentran principalmente en los pueblos o áreas rurales, y comercializan el producto directamente al consumidor final que acude en las rutas, en las vías públicas o mercados de los pueblos.

Los grupos 1 y 2 son CAI con mayor experiencia en la industria cárnica de la barbacoa o birria ( $p < 0.004$ ), asignaron el precio más alto de venta de carne procesada al consumidor final ( $p < 0.001$ ), se debe a que la carne procesada en barbacoa o birria se convierte en un platillo típico de los más caros de la carne ovina y caprina en México, asociado al conocimiento del proceso artesanal que da mayor valor agregado en el comercio del producto cárnico. El Grupo 1 prefiere menor contenido de grasa de la canal de ovinos o caprinos para elaborar barbacoa o birria; por tanto, adquirió animales de menor peso ( $p < 0.001$ ).

El Grupo 3 se ubica en ciudades estratégicas para procesar y comercializar la carne de ovino o caprino. Se caracterizó por agrupar CAI con mayor año de escolaridad ( $p < 0.002$ ), estos tienen una actitud bastante positiva para mejorar la calidad de sus productos continuamente, así que han incursionado en la venta de cortes de carne ovino o caprino, y tienen mayores ventas de carne en canal o cortes por semana ( $p < 0.001$ ), son proveedores de la industria de la barbacoa, birria, restaurantes y consumidor final (figura 1). Estos pagaron 7% más del precio de compra al proveedor de animales ( $p < 0.001$ ).

Con base en el análisis de Kruskal-Wallis (figura 2) hubo diferencias estadísticas ( $p < 0.001$ ) entre grupos de CAI sobre los atributos de los animales, excepto en salud ( $p > 0.438$ ) (figura 2). Los grupos 1 y 3 dieron mayor importancia a los animales machos de razas mejoradas, menor a  $\leq 1$  año de edad y pesos que oscilan de 40.7 a 45.5 kg. En el Grupo 3 prefirieron animales alimentados con base en concentrado



Figura 1. Carnicería (venta en canal y cortes de carne) de Capulhuac, Estado de México.

Fotografía de Jaime Mondragón-Ancelmo.

y bajo condiciones favorables de bienestar y salud animal para que el producto pueda competir en el mercado de venta de canal o cortes. El Grupo 2 dio mayor importancia a los animales no alimentados con anabólicos (hormonas,  $\beta$ ta adrenérgicos, etc.).

La especie animal es importante; para quienes elaboran barbacoa necesariamente debe ser carne de ovino, y para quienes elaboran birria debe ser de caprino. El precio resultó ser más importante para los Grupos 1 y 2, estos buscan abaratar los costos de producción en la elaboración de la barbacoa o birria; por tanto, compran animales de menor precio; no así para el Grupo 3, que puede mejorar e incentivar el precio de un animal de mayor calidad.

## DISCUSIÓN

En estudios previos se ha encontrado que ciertos mercados de pequeños rumiantes privilegian atributos intrínsecos, como la raza, el peso, género, edad y color pelo o lana (Kassa, Haile, & Essa, 2011). Estos resultados son consistentes con los encontrados en este estudio, donde algunos de los CAI encuestados privilegiaron estos atributos. Estas preferencias están en función de las exigencias de los diferentes procesos de producción a los que se destina la carne adquirida (barbacoa, birria, canales o cortes), así como de las necesidades del consumidor final de estos productos.

Por ejemplo, existe una tendencia en aumento entre los consumidores que buscan platillos elabora-

Tabla 2  
Perfil demográfico y de comercialización de los tres grupos de consumidores agroindustriales de pequeños rumiantes de carne

Variables	Grupo 1 (n= 31)	Grupo 2 (n= 26)	Grupo 3 (n= 10)	Total	p
<b>Sociodemográficas</b>					
Tipo de consumidor agroindustrial					
Barbacoyero	31	17	-	48	-
Birriero	-	9	-	9	-
Carnicero	-	-	10	10	-
Sexo del consumidor agroindustrial					
Masculino, %	81.0	96.0	96.0	-	-
Femenino, %	19.0	4.0	4.0	-	-
Experiencia en la actividad					
Edad, años	43.8	42.7	34.8	42.0	0.128
Estudios, años	9.3 <sup>a</sup>	8.7 <sup>a</sup>	12.4 <sup>b</sup>	9.5	0.002
Experiencia, años	21.8 <sup>b</sup>	12.5 <sup>a</sup>	13.7 <sup>a</sup>	17.0	0.004
<b>Comercialización (compra del animal)</b>					
Peso vivo del animal en pie, kg	40.7 <sup>a</sup>	50.7 <sup>b</sup>	43.8 <sup>a</sup>	45.1	0.001
Precio del animal en pie, \$/kg	40.1 <sup>a</sup>	38.7 <sup>a</sup>	43.3 <sup>b</sup>	40.0	0.001
<b>Comercialización (venta del producto procesado)</b>					
Precio de venta del producto, \$/kg	324.5 <sup>a1</sup>	281.2 <sup>a2</sup>	105.0 <sup>b3</sup>	274.9	0.001
Venta de producto, kg/semana	110.7 <sup>a</sup>	48.6 <sup>a</sup>	880.0 <sup>b</sup>	201.4	0.001

Nota: <sup>1</sup>Precio del kg de barbacoa. <sup>2</sup>Precio del kg de barbacoa o birria. <sup>3</sup>Precio del kg de carne en canal cruda. Las medias de los grupos con literales diferentes (a, b) difieren estadísticamente (p<0.05). Elaboración propia.

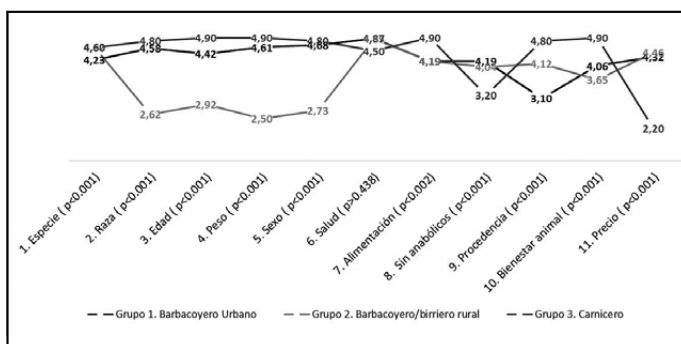


Figura 2. Importancia de los atributos intrínsecos y extrínsecos de los consumidores agroindustriales (escala de 1: Nada importante a 5: Muy importante). Elaboración propia.

dos con carne tierna y magra (Bernués et al., 2012). Estas características de calidad pueden ser factores afectados, como edad al sacrificio (Barone, Colafruglio, Girolami, Matassino, & Zullo, 2007), peso vivo (Majdoub-Mathlouthi, Saïd, Say, & Kraiem, 2013), sexo (Rodrigues & Teixeira, 2013), y raza (Turner, Belsky, Cassida, & Zerby, 2014). En este estudio la im-

portancia que se dio a los atributos mencionados se debe a que el CAI es quien realizó las compras, procesó y comercializó la carne de los animales, lo que permitió obtener mayor información de su producto.

Este comportamiento puede explicar la preferencia de algunos CAI por animales procedentes de un sistema de alimentación basado en concentrados o pastos y forrajes, atributo que ha sido considerado muy importante por los consumidores finales (Schnettler, Fica, Sepúlveda, Sepúlveda, & Denegri, 2010), mientras que para otros consumidores es poco importante (Oliazola Tolosana, Whebi, & Manrique Persiva, 2005). Sin embargo, existen consumidores que dan mayor preferencia a los animales alimentados con pastos o forrajes, o con una mezcla de forraje y concentrado (Font-i-Furnols et al., 2009), con menos residuos de sustancias químicas en la carne (Bernués et al., 2003), y criados bajo condiciones de bienestar animal (Koistinen et al., 2013). Lo anterior también coincide con otros estudios, que han reportado subgrupos de consumidores que difieren en sus

apreciaciones sobre los atributos de la carne (Kornelis, van Herpen, van der Lans, & Aramyan, 2010).

Actualmente, la producción de alimentos de origen animal inocuos, sin residuos químicos, constituye una preocupación importante a escala mundial (Bernués et al., 2003; Santurtún Oliveros, Tapia Pérez, González-Rebeles, & Galindo Maldonado, 2012). Si bien las posibilidades de intoxicación aguda por los residuos de estas sustancias son bajas (Domínguez-Vara et al., 2009), se desconocen sus efectos en personas que consumen permanentemente estos productos (Márquez Lara, 2008); pocos estudios han abordado este tema en México (Santurtún Oliveros et al., 2012). No obstante, es necesario que el consumidor mexicano esté mejor informado sobre el proceso de producción de carne, que se convierta en un consumidor exigente y adopte hábitos de consumo que no representen riesgos para la salud.

Se presume que el precio es uno de los atributos más importantes en las decisiones de compra; por lo general, se prefieren los precios bajos (Font-i-Furnols et al., 2011), en otros estudios el precio no fue considerado importante en el momento de la compra de la carne (Schnettler et al., 2010). Por otra parte, se menciona que los consumidores se enfocan en aquellos aspectos que permiten optimizar sus recursos económicos (Simons, Francis, Bourlakis, & Fearn, 2003). En este estudio se encontró que algunos grupos de CAI, a fin de abaratar sus costos de producción, conceden mayor importancia a los precios bajos de animales in vivo. La especie animal es importante para algunos CAI, ya que se relaciona con el tipo de producto terminado (barbacoa o birria) de acuerdo con las costumbres de la región, donde necesariamente buscan ovinos o caprinos que pro-

porcionen el gusto del consumidor final (de Andrade, de Aguiar Sobral, Ares, & Deliza, 2016).

Es evidente que el CAI mexicano de carne ovina y caprina tiene exigencias particulares, que difieren de acuerdo con sus diferentes áreas de influencia y actuación (rural o urbana), que pueden presentar discrepancias en condiciones económicas, educativas, culturales y de salud. El sondeo acerca de producción de carne de pequeños rumiantes en el Estado de México debe orientarse a la búsqueda de estrategias para satisfacer las necesidades del consumidor final e incentivar económicamente a los criadores. La determinación objetiva de la calidad de la canal y carne de los pequeños rumiantes, comercializados en el Estado de México y en el país, permitirá profundizar en las causas y efectos del consumo de carne de pequeños rumiantes, lo que aumentará las posibilidades de mejorar las condiciones de producción y comercialización de carne de ovinos y caprinos.

## CONCLUSIONES

Se encontraron tres grupos de consumidores agroindustriales con características particulares que difieren en las exigencias de los atributos de los pequeños rumiantes en cuanto a carne para elaboración de barbacoa, birria, canales o cortes. Los productores de ovinos y caprinos para carne tienen tres opciones para comercializar sus animales de acuerdo con los requerimientos del consumidor agroindustrial.

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los propietarios de los establecimientos de barbacoa, birria, canales y cortes del Estado de México por toda la información proporcionada para la culminación de este estudio.

**REFERENCIAS**

- Barone, C. M. A., Colatruglio, P., Girolami, A., Matassino, D., & Zullo, A. (2007). Genetic type, sex, age at slaughter and feeding system effects on carcass and cut composition in lambs. *Livestock Science*, 112(1-2), 133-142.
- Bernués, A., Olaizola, A., & Corcoran, K. (2003). Extrinsic attributes of red meat as indicators of quality in Europe: An application for market segmentation. *Food Quality and Preference*, 14(4), 265-276.
- Bernués, A., Ripoll, G., & Panea, B. (2012). Consumer segmentation based on convenience orientation and attitudes towards quality attributes of lamb meat. *Food Quality and Preference*, 26(2), 211-220.
- Cochran, W. G. (1984). *Técnicas de muestreo*. México: CECSA.
- Daniel, W. W. (2005). *Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud*. (4ª. ed.). México: Limusa Wiley.
- De Andrade, J. C., de Aguiar Sobral, L., Ares, G., & Deliza, R. (2016). Understanding consumers' perception of lamb meat using free word association. *Meat science*, 117, 68-74.
- Domínguez-Vara, I. A., Mondragón-Ancelmo, J., González-Ronquillo, M., Salazar-García, F., Bórquez-Gastelum, J. L., & Aragón-Martínez, A. (2009). Los  $\beta$ -agonistas adrenérgicos como modificadores metabólicos y su efecto en la producción, calidad e inocuidad de la carne de bovinos y ovinos: Una revisión. *CIENCIA Ergo-Sum*, 16(3), 278-284.
- Font-i-Furnols, M., & Guerrero, L. (2014). Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview. *Meat Science*, 98(3), 361-371.
- Font i Furnols, M., Realini, C. E., Guerrero, L., Oliver, M. A., Sañudo, C., Campo, M. M., ... Montossi, F. (2009). Acceptability of lamb fed on pasture, concentrate or combinations of both systems by European consumers. *Meat Science*, 81(1), 196-202.
- Font i Furnols, M., Realini, C., Montossi, F., Sañudo, C., Campo, M. M., Oliver, M. A., ... Guerrero, L. (2011). Consumer's purchasing intention for lamb meat affected by country of origin, feeding system and meat price: A conjoint study in Spain, France and United Kingdom. *Food Quality and Preference*, 22(5), 443-451.
- Galaviz-Rodríguez, J. R., Vargas-López, S., Zaragoza-Ramírez, J. L., Bustamante González, A., Ramírez-Bribiesca, E., Guerrero-Rodríguez, J. D., & Hernández Zapata, J. S. (2011). Evaluación territorial de los sistemas de producción ovina en la región norponiente de Tlaxcala. *Revista Mexicana Técnica Pecuaria*, 2(1), 53-68.
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., & Black, W. (1999). *Análisis multivariante* (5ª. ed). Madrid: Prentice Hall Iberia.
- Juárez-Morales, M., Álvarez-Castañeda, I., Domínguez-Vara, A., Mondragón-Ancelmo, J., Martínez-García, G., Bórquez-Gastelum, J. L., & Salazar-García, F. (2012). Characterization of farms to identify sheep meat commercialization channels in the highlands of Central Mexico. En *Proceedings: 27th World Buiatrics Congress 3-8 June 2012, Lisbon Congress Center, Lisbon Portugal*. Lisbonne: Associação Portuguesa de Buiatria.
- Kassa, B. T., Haile, A. G., & Essa, J. A. (2011). Determinants of sheep prices in the highlands of northeastern Ethiopia: Implication for sheep value chain development. *Tropical Animal Health and Production*, 43(8), 1525-1533.
- Kinnear, T. C., & Taylor, J. R. (1993). *Investigación de mercados: Un enfoque aplicado* (4ª. ed.). Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Koistinen, L., Pouta, E., Heikkila, J., Forsman-Hugg, S., Kotro, J., Mäkelä, J., & Niva, M. (2013). The impact of fat content, production methods and carbon footprint information on consumer preferences for minced meat. *Food Quality and Preference*, 29(2), 126-136.
- Kornelis, M., van Herpen, E., van der Lans, I., & Aramyan, L. (2010). Using non-food information to identify food-choice segment membership. *Food Quality and Preference*, 21(5), 512-520.
- Majdoub-Mathlouthi, L., Saïd, B., Say, A., & Kraiem, K. (2013). Effect of concentrate level and slaughter body weight on growth performances, carcass traits and meat quality of Barbarine lambs fed oat hay based diet. *Meat Science*, 93(3), 557-563.
- Márquez Lara, D. (2008). Residuos químicos en alimentos de origen animal: Problemas y desafíos para la inocuidad alimentaria en Colombia. *Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(1), 124-135.
- Mondragón-Ancelmo, J., Hernández-Martínez, J., Rebollar-Rebollar, S., Salem, A. Z., Rojo-Rubio, R., Domínguez-Vara, I. A., & García-Martínez, A. (2014). Marketing of meat sheep with intensive finishing in southern state of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 46(8), 1427-1433.
- Nam, K. C., Jo, C., & Lee, M. (2010). Meat products and consumption culture in the East. *Meat Science*, 86(1), 95-102.
- Nuncio-Ochoa, G., Nahed, T. J., Díaz Hernández, B., Escobedo Amezcua, F., & Salvatierra Izaba, E. B. (2001). Caracterización de los sistemas de producción ovina en el estado de Tabasco. *Agrociencia*, 35(4), 469-477.



- Oliazola Tolosana, A. M., Whebi, Z., & Manrique Persiva, E. (2005). Quality perception and consumer attitudes to "specific quality beef" in Aragón, Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3(4), 418-428.
- Rebullar, S., Hernández Martínez, J., García Salazar, J. A., García-Mata, R., Torres Hernández, G., Bórquez Gastélum, J. L., & Mejía Hernández, P. (2007). Canales y márgenes de comercialización de caprinos en Tejupilco y Amatepec, Estado de México. *Agrociencia*, 41(3), 363-370.
- Rodrigues, S., & Teixeira, A. (2013). Use of generalized Procrustes analysis (GPA) to test the effects of sex and carcass weight on sensory quality evaluations of Terrincho lamb meat. *Meat Science*, 93(3), 485-488.
- Santurtún Oliveros, E., Tapia Pérez, G., González-Rebeles, C., & Galindo Maldonado, F. (2012). Actitudes y percepciones de consumidores en la Ciudad de México, hacia atributos de la producción sustentable de alimentos de origen animal. *Veterinaria México*, 43(2), 87-101.
- Schnettler, B., Fica, D., Sepúlveda, N., Sepúlveda, J., & Denegri, M. (2010). Valoración de atributos intrínsecos y extrínsecos en la compra de la carne bovina en el sur de Chile. *Revista Científica*, 20(1), 101-109.
- Simons, D., Francis, M., Bourlakis, M., & Fearn, A. (2003). Identifying the determinants of value in the U.K. red meat industry: A value chain analysis approach. *Journal on Chain and Network Science*, 3(2), 109-121.
- Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera. (s. f.). [Portal electrónico]. Recuperado de <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Turner, K. E., Belesky, D. P., Cassida, K. A., & Zerby, H. N. (2014). Carcass merit and meat quality in Suffolk lambs, Katahdin lambs, and meat-goat kids finished on a grass-legume pasture with and without supplementation. *Meat Science*, 98(2), 211-219.

## Implementación de un sistema para evaluar la neurotoxicidad de los contaminantes ambientales en larvas de pez cebra (*Danio rerio*)

### Implementation of a system to evaluate neurotoxicity of environmental pollutants in zebrafish larvae (*Danio rerio*)

Selma Valles\*, Everardo Gutiérrez López\*, Ulises Bardullas\*✉

Valles, S., Gutiérrez López, E., & Bardullas, U. (2018). Implementación de un sistema para evaluar la neurotoxicidad de los contaminantes ambientales en larvas de pez cebra (*Danio rerio*). *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 25-31.

#### RESUMEN

En la actualidad, una amplia gama de contaminantes son detectados en el ambiente con implicaciones en la salud y en la biodiversidad, su elevado número ha dificultado su estudio con métodos de experimentación in vitro e in vivo. Se implementó en el modelo del pez cebra un sistema de bajo costo para evaluar el efecto de los contaminantes ambientales, utilizando la actividad motora como marcador de neurotoxicidad. Embriones fueron expuestos a concentraciones de 0.05, 0.5, 5, 50 mg/l de arsénico inorgánico (Asi), 0.03, 0.3, 3, 10 mg/l de atrazina (ATR) y 14.5, 29.1, 43.6 mg/l de tiametoxam (TMX). La actividad motora aumentó en larvas expuestas a ATR y Asi y disminuyó con dosis altas de TMX. Estos datos sugieren que el sistema implementado es sensible para detectar cambios en la conducta motora en larvas del pez cebra, lo que puede contribuir positivamente al estudio de los contaminantes ambientales con potencial neurotóxico.

**Palabras clave:** pez cebra; neurotoxicidad; tiametoxam; atrazina; arsénico; plaguicidas.

**Keywords:** zebrafish; neurotoxicity; arsenic; atrazine; thiametoxam; pesticides.

Recibido: 12 de julio de 2017, aceptado: 15 de enero de 2018

\* Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana No. 3917, Colonia Playitas, C. P. 22860, Ensenada, Baja California, México. Correo electrónico: selma.torres41@uabc.edu.mx; everardo.gutierrez@uabc.edu.mx; bardullas@uabc.edu.mx

✉ Autor para correspondencia

#### ABSTRACT

Currently, a wide variety of pollutants are detected in the environment with implications for both health and biodiversity, its high number has made it difficult to study with in vitro and in vivo methods of experimentation. A low cost system was implemented to evaluate the toxic effects of environmental pollutants, using the motor activity as neurotoxicity marker in zebrafish model. Embryos were exposed to inorganic arsenic (Asi) 0.05, 0.5, 5, 50 mg/l, atrazine (ATR) 0.03, 0.3, 3, 10 mg/l and thiametoxam (TMX) 14.5, 29.1, 43.6 mg/l. Motor activity increased in larvae exposed to ATR and Asi and decreased with the high dose of TMX. These data suggest that system is sensitive for to detect changes in motor behavior in zebrafish larvae, which may contribute to increase the study of environmental pollutants with neurotoxic potential.

#### INTRODUCCIÓN

Se estima que anualmente 2,000 nuevos químicos se suman al mercado global, de los cuales, la extensa mayoría no son sometidos a pruebas toxicológicas intensivas (Eaton & Gallagher, 2010). Las implicaciones éticas, los altos costos e intensiva labor de operación son algunas de las causas que han limitado la capacidad de evaluación de los efectos tóxicos de los contaminantes sobre los diferentes modelos in vitro e in vivo. Aunque el uso de líneas celulares tiene claras ventajas operacionales, representa un sistema biológico aislado y homogéneo que no permite predecir la interacción entre las múltiples variables en un organismo completo. Aunado a lo anterior, desde hace décadas es de gran preocupación el

efecto de los contaminantes ambientales sobre el desarrollo de los organismos. Numerosos estudios demuestran a los infantes como una de las poblaciones más vulnerables a los efectos deletéreos de los contaminantes ambientales, los cuales incluyen alteraciones en el sistema inmune, respiratorio (Cao et al., 2016) y nervioso (Tolins, Ruchirawat, & Landrikan, 2014).

Por tal motivo, la incorporación de herramientas de alto rendimiento y bajo costo podrían contribuir a la identificación preliminar de sustancias con potencial tóxico. En los últimos años el pez cebrá ha emergido como un organismo en la investigación biomédica por la facilidad y economía en su manejo y mantenimiento y por sus cualidades biológicas con ciclos de vida reducidos que en 72 h completa su desarrollo embrionario y puede alcanzar la madurez sexual a los 90 días (Peterson & MacRae, 2012). Este organismo ha demostrado tener mecanismos celulares y estructuras del sistema nervioso conservados entre vertebrados (Lieschke & Currie, 2007), lo que ha permitido extrapolar el uso de pruebas neuroconductuales típicas de modelos murinos con una alta comparabilidad de los resultados (Steenbergen, Richardson, & Champagne, 2011). El pez cebrá es un modelo con notables ventajas para el estudio del efecto de los contaminantes sobre el desarrollo. Su desarrollo externo es translúcido, sus embriones son numerosos en cada puesta, lo que permite la implementación de pruebas de alto rendimiento con múltiples réplicas.

La actividad motora es un parámetro documentado por décadas en el campo de la psicofarmacología y de la toxicología, el cual es extensivamente utilizado en modelos murinos como un indicador de daño en el sistema nervioso por exposición a tóxicos (Bardullas et al., 2009; Wolansky, Gennings, DeVito, & Crofton, 2009), además de ser un método validado en estudios de neurotoxicidad aguda y crónica realizados por organismos gubernamentales como la Environmental Protection Agency (EPA) (Crofton et al., 1991). Sin embargo, los costos de implementación del modelo del pez cebrá con sistemas de crianza comerciales, así como los instrumentos de medición de la función motora en larvas, pueden alcanzar algunas decenas de miles de dólares, lo que limita la adopción de estos sistemas de medición por nuevos laboratorios.

De forma reciente, un grupo desarrolló un programa de código abierto denominado LSRtrack

(Zhou, Cattley, Cario, Bai, & Burton, 2014), el cual registra la actividad motora en múltiples individuos, lo que permite trasladar este método de análisis de la conducta al campo de la neurotoxicología y contribuir a la identificación de sustancias con potencial neurotóxico. Por tal motivo, este estudio tiene como objetivo el diseño y construcción de un sistema de bajo costo para la reproducción y crianza de pez cebrá y posteriormente la optimización de las herramientas para el análisis de la actividad motora con la intención de emplearse en la evaluación sistemática de contaminantes ambientales. La hipótesis del presente trabajo fue que la adopción de estas herramientas permitirá demostrar que la exposición al arsénico, a la atrazina y al tiامتoxam es capaz de producir alteraciones sobre la actividad motora y conducta de tigmotaxis.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Construcción de un sistema para la reproducción y crianza del pez cebrá

El sistema se construyó con materiales locales de bajo costo y consiste en dos niveles con acuarios de vidrio de 15, 10, y 1.5 l (figura 1). Los acuarios descargan sobre una canaleta de PVC a través de un tubo recubierto por un extremo con malla de nylon, el cual desemboca en un depósito de acrílico (sumidero). Los primeros compartimentos permiten separar por decantación los sólidos del agua, el líquido pasa a un tercer depósito en donde una bomba de impulsión de 150 l/h bombea el flujo hacia la lámpara UV, el flujo es bombeado por una segunda bomba de impulsión de 350 l/h hacia un filtro biológico —consistente en un tubo hermético de PVC de 50 cm de diámetro que en su interior contiene 1/2 k de esferas de poliestireno, estas esferas sirven como superficie para adhesión de bacterias benéficas que promueven la nitrificación y desnitrificación del agua—, finalmente, el agua regresa a través de un sistema de tuberías de PVC hacia ambos niveles, en donde válvulas de PVC grado alimenticio controlan el flujo que alimenta los acuarios. En el interior del depósito sumidero se colocó un calentador de alto rendimiento de 300 W, el cual mantiene la temperatura del sistema a 28.5 °C.

### Protocolo de exposición

Peces cebrá adultos de aproximadamente 6 meses de edad fueron mantenidos a una temperatura de  $28 \pm 1$  °C con un ciclo de 14h/10h luz-obscuridad. Una noche antes del desove se colocaron trampas

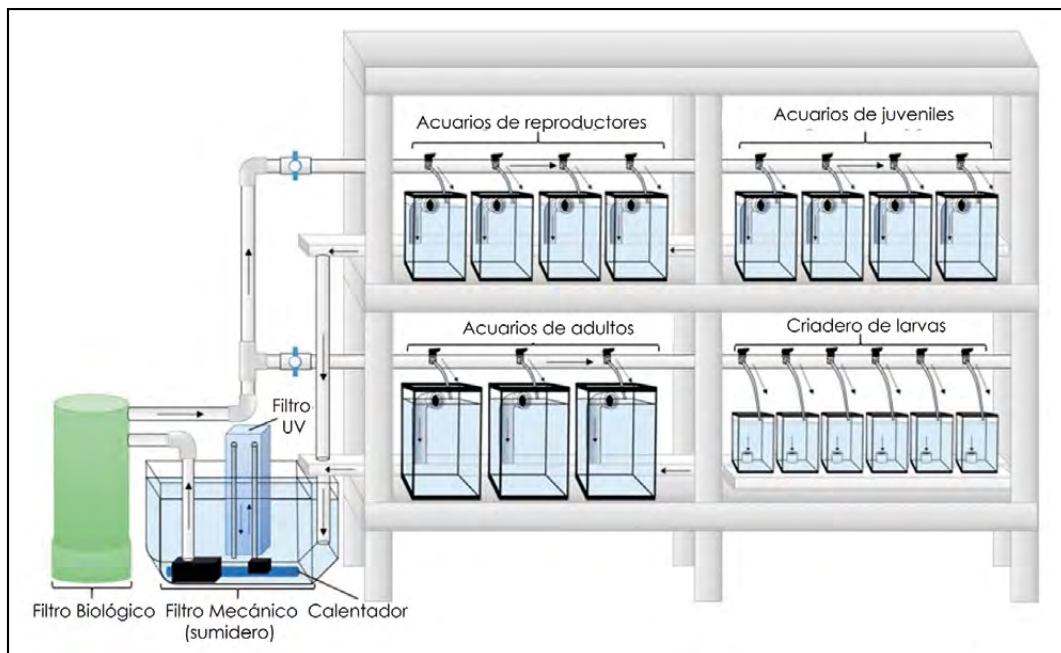


Figura 1. Diagrama esquemático del sistema de crianza de peces cebras. Elaboración propia.

para capturar los huevos y al siguiente día, una hora después de iniciar el ciclo de luz (8:00 am), los huevos fueron recolectados, limpiados con medio E2 (7.5mM NaCl, 0.25mM KCl, 0.5mM MgSO<sub>4</sub>, 75μM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 25μM Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0.5mM CaCl<sub>2</sub>, 0.35mM NaHCO<sub>3</sub>) y colocados en cajas Petri a una densidad de 25 embriones por caja. Los huevos no fecundados fueron descartados (Nagel, 2002). Las soluciones de trabajo (ATR) 0.03, 0.3, 3 mg/l (ChemService West Chester, PA, US); (Asi) 0.05, 0.5, 5 mg/l (J. T. Baker Phillipsburg, NJ, US) y (TMX) 14.5, 29.1, 43.6 mg/l (Sigma-Aldrich St. Louis, MO, US) fueron elaboradas a partir de soluciones madre disueltas en medio E2 sin el uso de ningún disolvente orgánico. Los grupos control de cada tratamiento se mantuvieron en medio E2.

Para cada tratamiento, incluso el grupo control, se realizaron tres réplicas. La exposición de los huevos fecundados a los diferentes tratamientos inició en la fase embrionaria a partir de las 2 h postfertilización (hpf) y continuó hasta la fase larval en el séptimo día posfertilización (dpf), con recambios diarios de las soluciones. La incubación se mantuvo a una temperatura estable de  $28 \pm 1$  °C en un ciclo de 14 h luz/10 h oscuridad.

#### Montaje de la actividad motora en larvas

Finalizada la exposición se corroboró la ausencia de malformaciones y las larvas de 7 dpf fueron transferidas al cuarto de grabación previamente clima-

tizado a  $28 \pm 1.5$  °C. Un total de 24 larvas fueron colocadas sobre placas de 24 pocillos (Costar, # 3526, Corning, NY, US) adaptadas para grabación previamente llenadas con medio E2 sin tóxicos. Para la grabación se utilizó una videocámara Flea3 (Point Grey Research) acoplada a un lente computar M6Z1212-3S sobre un soporte para cámara. Como fuente de iluminación se utilizó un luminario tipo led de 6500 K (General Lighting 04745-1) (figura 2a). La adaptación de las placas se realizó rebajando su altura hasta 5 mm, con ayuda de una herramienta rotativa de velocidad variable y su accesorio de corte #426 (Dremel 3000, D. F., México); posteriormente fueron pintadas en la parte exterior de los pocillos con pintura acrílica negra para producir un efecto de máscara durante la grabación. Se agregó un molde interno de agar bacteriológico a 1% llenando los pocillos con aproximadamente 1.5 ml de agar (figura 2b). El montaje de videograbación se colocó dentro de una estructura de madera para evitar estímulos externos.

#### Análisis de la actividad motora en larvas de pez cebras

Los registros de la actividad motora se realizaron entre las 11:00 a.m. y las 14:00 p.m. con una duración de 20 min para cada videograbación, siguiendo el procedimiento descrito ampliamente en Zhou et al. (2014), con el uso de la herramienta de software de código abierto LSRtrack en MATLAB. Los datos proporcionados fueron procesados con la finalidad de

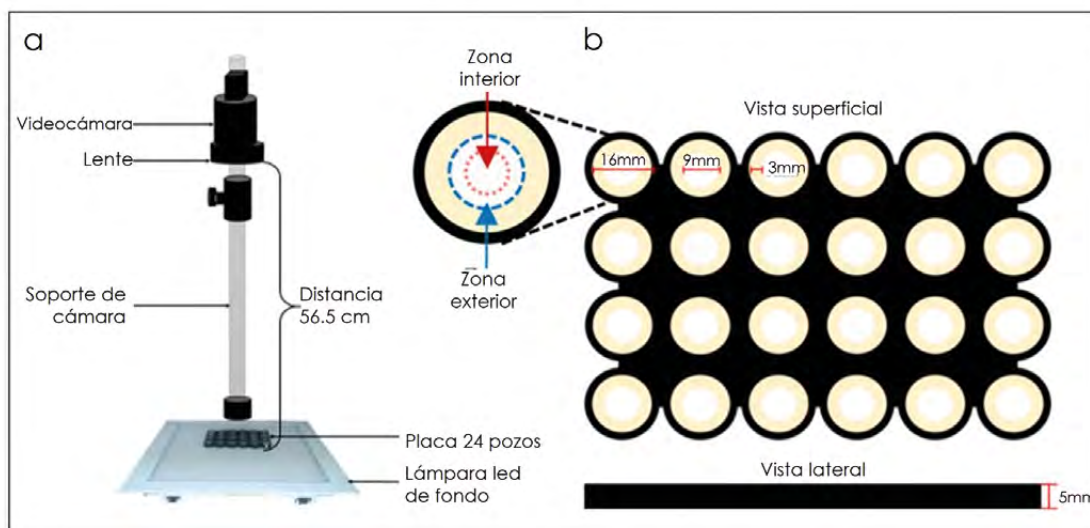


Figura 2. Diseño de equipo y material para el análisis locomotor en larvas de pez cebra. (a) Montaje para videograbación de placas, (b) placas de 24 pocillos con delimitación de agar en la periferia de los pocillos. Elaboración propia.

obtener medidas relevantes en términos de la actividad motora como marcador de neurotoxicidad. Para ello se generó un nuevo módulo de análisis a partir de los datos generados por LSRtrack (s. f.), el cual permite calcular y analizar las distancias totales recorridas por cada una de las larvas. El software también permite realizar análisis considerando intervalos de tiempo, lo que puede utilizarse para medir la progresión temporal de la distancia total recorrida de la larva expuesta al contaminante. La fórmula general para el cálculo de la distancia recorrida por cada larva se estableció de la siguiente forma:

$$distMMs_k = \frac{\sum_{i=1}^F fishDistances[k][i]}{unscaledRadius / radius}$$

El nuevo módulo desarrollado también permite la medición del comportamiento de las larvas en términos de su preferencia por mantenerse en los bordes. Se definió un círculo interior de 4 mm de radio ( $rCInterior$ ) para el análisis de los datos. En este caso se utilizaron los datos reportados por LSRtrack en la matriz  $fishAreas$ , de dimensiones  $N \times 4$ , que contiene las coordenadas posicionales de cada larva en cada fotograma, para calcular el centroide de cada pocillo:

$$wellC_k = \left( \frac{fishAreas[k][1] + (fishAreas[k][2] - fishAreas[k][1])}{2}, \frac{fishAreas[k][3] + (fishAreas[k][4] - fishAreas[k][3])}{2} \right)$$

Esto permite calcular la región que contempla el círculo interior y verificar si para cada fotograma la larva se encuentra dentro de ella o en los bordes considerando su distancia euclidiana al centroide del pocillo:

$$distToCenter_{f,k} = \sum_{i=1}^F DistanciaEuclidiana(wellC_k, fishCoord[k][i])$$

El resultado permite calcular el total de fotogramas para los cuales la larva se mantuvo fuera del círculo interior, utilizando para ello el valor  $rCInterior$ , lo cual se traduce en el porcentaje de fotogramas y tiempo que la larva estuvo en la zona de bordes.

### Estadística

El análisis de la actividad motora y conducta de tigmotaxis se realizó con un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía, seguido de una prueba *post hoc* LSD de Fisher para la comparación entre múltiples tratamientos, utilizando el software StatView versión 5.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, US). Los datos se presentan como un promedio  $\pm$  error estándar (EEM). Significancia establecida como  $p \leq 0.05$ .

## RESULTADOS

Los resultados muestran un desarrollo normal de los organismos sin malformaciones visibles (figura 3). Adicionalmente, no se observó una mortalidad con los tratamientos al finalizar la exposición mayor a 10% (datos no mostrados). En experimentos inde-

pendientes la exposición durante 7 días a ATR, Asi y TMX generó alteraciones significativas en la actividad locomotora en larvas de pez cebra. Las concentraciones de 0.3 y 3 mg ATR/L fueron suficientes para producir hiperactividad [F (3, 37)= 4.75,  $p=0.0065$ ] (figura 4a). De la misma forma, las larvas expuestas al Asi desarrollaron un aumento significativo en la actividad motora después de 7 días de exposición a las dosis de 0.5 y 5 mg Asi/L [F (3, 79)= 6.69,  $p=0.0004$ ] (figura 4b). Un efecto de hipoactividad se observó en los individuos expuestos al insecticida TMX en donde una dosis de 29.1 mg TMX/L redujo la distancia total recorrida [F (3, 116)= 3.51,  $p=0.0044$ ] (figura 4c).

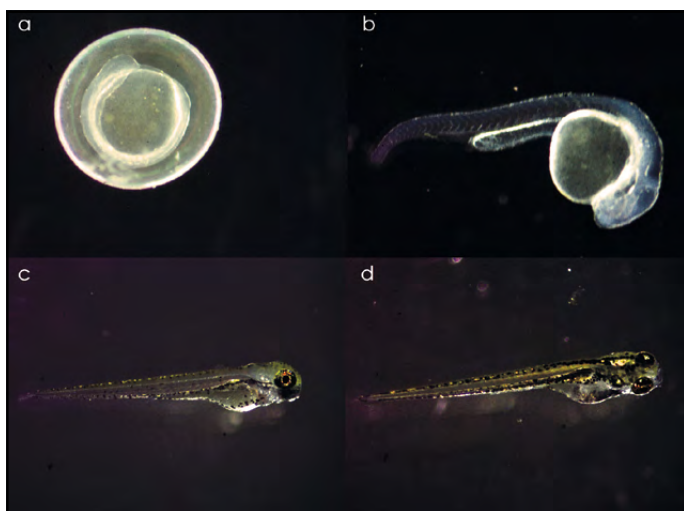


Figura 3. Desarrollo larval de pez cebra. (a) Embrión de pez cebra, 8 horas posfertilización (hpf); (b) embrión de 24 hpf; (c) larva de 72 hpf; (d) larva de 120 hpf. Elaboración propia.

Por otro lado, la exposición a ATR no produjo alteraciones en el parámetro de tigmotaxis [F (3, 52)= 01.37,  $p>0.05$ ] (figura 4d), mientras que las dosis de Asi de 5 mg Asi/L aumentaron el tiempo en los márgenes [F (3, 92)= 2.58,  $p=0.024$ ] (figura 4e). Finalmente, una dosis alta del insecticida TMX 43.6 mg disminuyó el tiempo en los márgenes [F (3, 116)= 4.51,  $p=0.0007$ ] (figura 4f).

## DISCUSIÓN

Acorde con la hipótesis inicial del presente trabajo, los resultados demuestran que la exposición durante etapas tempranas del desarrollo a tres tipos de contaminantes ambientales altera la actividad motora y la conducta de tigmotaxis en larvas de 7 días posfertilización. La ATR es uno de los herbicidas más utilizados en el mundo con más de 50 años en el mercado. La exposición a este plaguicida se ha relacionado con alteraciones en el sistema nervioso en modelos murinos, particularmente sobre el sistema dopaminérgico nigroestriatal, lo que parcialmente explica los efectos deletéreos sobre la conducta motora (Bardullas, Giordano, & Rodríguez, 2011). Recientemente, un estudio demostró un aumento sobre la actividad motora en larvas de pez cebra de 5 dpf expuestas a 30, 100, 300  $\mu\text{g}$  ATR/L (Liu et al., 2016), pero evaluadas con el uso de un software comercial de videoseguimiento, lo que sugiere la reproducibilidad de los resultados con relación al uso de una herramienta de acceso libre.

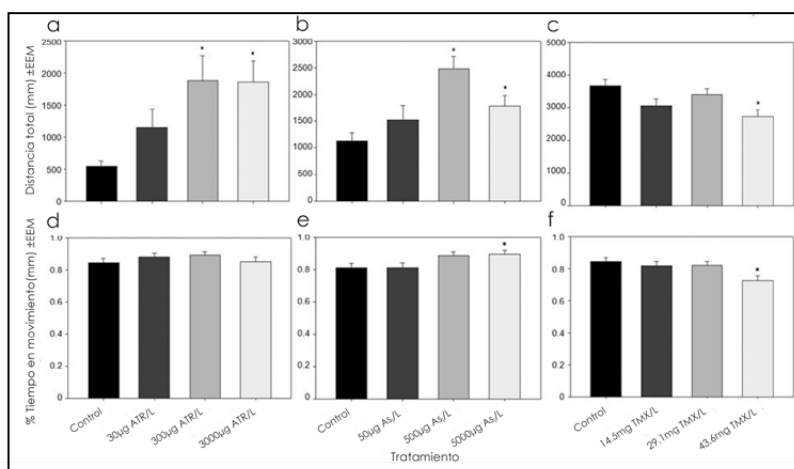


Figura 4. Efectos sobre actividad locomotora y tigmotaxis en larvas de pez cebra por exposición a atrazina (n= 12-18), arsénico (n= 24) y tiametoxam (n= 30). Efecto de la atrazina (a), arsénico (b) y tiametoxam (c) sobre la actividad motora. Efecto de la atrazina (d), arsénico (e) y tiametoxam (f) sobre la conducta de tigmotaxis.

\* Diferente de grupo control  $p < 0,05$ .

Elaboración propia.

Por otro lado, el Asi es considerado una de las sustancias más ubicuas y tóxicas del planeta, con amplia presencia en el territorio nacional, en donde se han documentado concentraciones que superan la norma nacional de 0.025 mg Asi/l (Camacho, Gutiérrez, Alarcón-Herrera, Villalba, & Deng, 2011; Del Razo et al., 2002). Asimismo, el impacto negativo del Asi sobre el sistema nervioso ha sido ampliamente descrito, tanto en humanos (Calderón et al., 2001), como en modelos animales. El Asi es un potente disruptor de la función motora en roedores adultos; estudios anteriores demostraron que la exposición durante 4 meses a dosis relevantes al medio ambiente de 0.5 y 5 mg Asi/l similares a las utilizadas en estudio generan hiperactividad en ratones C57Bl/6J (Bardullas et al., 2009), lo que sugiere similitudes entre el pez cebrá y el ratón C57Bl/6J en la sensibilidad ante un marcador de neurotoxicidad.

En contraste con los contaminantes, el insecticida TMX es un plaguicida de reciente creación y escasa información toxicológica, es el segundo del grupo de los neonicotinoides más comercializado en el mundo; hay que mencionar que el uso de estos plaguicidas se ha asociado con el colapso en las colonias de abejas (Tomizawa & Casida, 2003). Recientemente un estudio reportó que en el pez cebrá la exposición temprana a 45  $\mu\text{M}$  o 60  $\mu\text{M}$  de imidacloprid, un insecticida de la familia de neonicotinoides, es capaz de producir alteraciones en la actividad motora en estadio larval y tener efectos persistentes durante la etapa adulta (Crosby, Bailey, Oliveri, & Levin, 2015), por lo que es plausible sugerir que el TMX puede producir afectaciones similares.

En el presente estudio se tomó ventaja de la robusta conducta de tigmotaxis, o preferencia a permanecer cerca de los márgenes que el pez cebrá exhibe, comportamiento evolutivamente bien conservado que exhibe una gran variedad de animales (Stewart, Gaikwad, Kyzar, & Kalueff, 2012), por lo que en el presente estudio se incluyó el diseño de un algoritmo que permite analizar esta conducta en larvas como un parámetro de exploración y ansiedad (Hoy et al., 1999). De forma reciente, este marcador ha sido trasladado al modelo del pez cebrá y validado en larvas (Schnörr, Steenbergen, Richardson, & Champagne, 2012). Desde el conocimiento de los autores del presente, este es el primer reporte que sugiere posibles efectos relacionados con la ansiedad por exposición a dosis relevantes al medio ambiente de Asi, y una modesta disminución en los niveles de permanencia en el borde con una dosis alta de TMX. Sin embargo, una limitación de dicho

algoritmo para la detección de tigmotaxis y futuros alcances de este estudio consiste en la necesidad de ser validado a través de una serie de retos farmacológicos con ansiolíticos y ansiogénicos.

De manera importante, los resultados del presente estudio demuestran que la actividad motora en larvas de pez cebrá puede ser implementada como un parámetro de neurotoxicidad de manera eficaz y con alto costo-beneficio con la adopción de herramientas de videoseguimiento de libre acceso en comparación con los sistemas comerciales, cuyos costos pueden superar los 25,000 dólares. De la misma forma, la construcción de un sistema para la reproducción y crianza de pez cebrá con materiales de bajo costo genera un gasto de solo 800 dólares, en comparación con los sistemas comerciales, entre \$6,000 y 15,000 dólares. Este costo accesible se traduce en la posibilidad de que el modelo sea incorporado en nuevos laboratorios interesados en un modelo de bajo costo y alto rendimiento con múltiples aplicaciones en el campo de la toxicología, como el estudio y evaluación de contaminantes ambientales, así como de vigilancia de aguas residuales y mantos acuíferos.

## CONCLUSIONES

Con la implementación de un sistema de reproducción y crianza, así como la adaptación de herramientas de videoseguimiento de reciente creación, el presente estudio corroboró que la larva de pez cebrá es un organismo valioso para la evaluación de marcadores de neurotoxicidad por exposición a contaminantes ambientales con una buena relación costo-efectividad. Los dos algoritmos de análisis desarrollados permitieron evaluar con una adecuada sensibilidad los efectos de tres contaminantes de relevancia actual. Asimismo, en el caso del ATR y Asi, los datos fueron consistentes con la literatura reportada para modelos murinos, lo que sugiere el potencial del uso del pez cebrá en sus distintos estadios, como un modelo que complementa la información toxicológica obtenida de roedores, amortizando las desventajas de estos modelos en cuanto a costo, espacio e implicaciones bioéticas.

## Agradecimientos

Este proyecto fue financiado gracias a la incorporación de Nuevos PTC (UABC-PTC514) del Programa para el Desarrollo Profesional Docente de la Secretaría de Educación Pública. Un agradecimiento especial a Mayra López Cervantes por su apoyo en la crianza y reproducción de los organismos.

**REFERENCIAS**

- Bardullas, U., Giordano, M., & Rodríguez, V. M. (2011). Chronic atrazine exposure causes disruption of the spontaneous locomotor activity and alters the striatal dopaminergic system of the male Sprague-Dawley rat. *Neurotoxicology and Teratology*, 33(2), 263-272.
- Bardullas, U., Limón-Pacheco, J. H., Giordano, M., Carrizales, L., Mendoza-Trejo, M. S., & Rodríguez, V. M. (2009). Chronic low-level arsenic exposure causes gender-specific alterations in locomotor activity, dopaminergic systems, and thioredoxin expression in mice. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 239(2), 169-177.
- Calderón, J., Navarro, M. E., Jimenez-Capdeville, M. E., Santos-Diaz, M. A., Golden, A., Rodríguez-Leyva, I.,... Diaz-Barriga, F. (2001). Exposure to arsenic and lead and neuropsychological development in Mexican children. *Environmental Research*, 85(2), 69-76.
- Camacho, L. M., Gutiérrez, M., Alarcón-Herrera, M. T., Villalba, M. L., & Deng, S. (2011). Occurrence and treatment of arsenic in groundwater and soil in northern Mexico and southwestern USA. *Chemosphere*, 83(3), 211-225.
- Cao, J., Xu, X., Hylkema, M. N., Zeng, E. Y., Sly, P. D., Suk, W. A., ... Huo, X. (2016). Early-life exposure to widespread environmental toxicants and health risk: A focus on the immune and respiratory systems. *Annals of Global Health*, 82(1), 119-131.
- Crofton, K. M., Howard, J. L., Moser, V. C., Gill, M. W., Reiter, L. W., Tillson, H. A., & MacPhail, R. C. (1991). Interlaboratory comparison of motor activity experiments: Implications for neurotoxicological assessments. *Neurotoxicology and Teratology*, 13(6), 599-609.
- Crosby, E. B., Bailey, J. M., Oliveri, A. N., & Levin, E. D. (2015). Neurobehavioral impairments caused by developmental imidacloprid exposure in zebrafish. *Neurotoxicology and Teratology*, 49, 81-90.
- Del Razo, L. M., Garcia-Vargas, G. G., Garcia-Salcedo, J., Sanmiguel, M. F., Rivera, M., Hernandez, M. C., & Cebrian, M. E. (2002). Arsenic levels in cooked food and assessment of adult dietary intake of arsenic in the Region Lagunera, Mexico. *Food and Chemical Toxicology*, 40(10), 1423-1431.
- Eaton, D. L., & Gallagher, E. P. (2010). 1.01 –General overview of Toxicology. En *Comprehensive Toxicology* (vol. 1, pp. 1-46). US: Elsevier.
- Hoy, J. B., Cody, B. A., Karlix, J. L., Schmidt, C. J., Tebbett, I. R., Toffollo, S., ... Wielbo, D. (1999). Pyridostigmine bromide alters locomotion and thigmotaxis of rats: Gender effects. *Pharmacology, Biochemistry, and Behavior*, 63(3), 401-406.
- Lieschke, G. J., & Currie, P. D. (2007). Animal models of human disease: Zebrafish swim into view. *Nature Reviews. Genetics*, 8(5), 353-367.
- Liu, Z., Wang, Y., Zhu, Z., Yang, E., Feng, X., Fu, Z., & Jin, Y. (2016). Atrazine and its main metabolites alter the locomotor activity of larval zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*, 148, 163-170.
- LSRtrack (s. f.). PRICA\_Analyze.zip [Carpetas con información]. Recuperado de <https://drive.google.com/file/d/0B3eZrXlRQPe5OFRpaGpzaUNabkk/view?usp=sharing>
- Nagel, R. (2002). DarT: The embryo test with the Zebrafish *Danio rerio*—a general model in ecotoxicology and toxicology. *ALTEX*, 19(Suppl. 1), 38-48.
- Peterson, R. T., & MacRae, C. A. (2012). Systematic approaches to toxicology in the zebrafish. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 52, 433-453.
- Schnörr, S. J., Steenbergen, P. J., Richardson, M. K., & Champagne, D. L. (2012). Measuring thigmotaxis in larval zebrafish. *Behavioural Brain Research*, 228(2), 367-374.
- Steenbergen, P. J., Richardson, M. K., & Champagne, D. L. (2011). The use of the zebrafish model in stress research. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 35(6), 1432-1451.
- Stewart, A. M., Gaikwad, S., Kyzar, E., & Kalueff, A. V. (2012). Understanding spatio-temporal strategies of adult zebrafish exploration in the open field test. *Brain Research*, 1451, 44-52.
- Tolins, M., Ruchirawat, M., & Landrigan, P. (2014). The developmental neurotoxicity of arsenic: cognitive and behavioral consequences of early life exposure. *Annals of Global Health*, 80(4), 303-314.
- Tomizawa, M., & Casida, J. E. (2003). Selective toxicity of neonicotinoids attributable to specificity of insect and mammalian nicotinic receptors. *Annual Review of Entomology*, 48, 339-364.
- Wolansky, M. J., Gennings, C., DeVito, M. J., & Crofton, K. M. (2009). Evidence for dose-additive effects of pyrethroids on motor activity in rats. *Environmental Health Perspectives*, 117(10), 1563-1570.
- Zhou, Y., Cattley, R. T., Cario, C. L., Bai, Q., & Burton, E. A. (2014). Quantification of larval zebrafish motor function in multiwell plates using open-source MATLAB applications. *Nature Protocols*, 9(7), 1533-1548.



## Extracción etanólica de aceite de semillas de *Moringa oleifera*

### Ethanollic extraction of oil from *Moringa oleifera* seeds

Danger Tabio García\*, Claudia Espinosa Acosta\*, Yosvany Díaz Domínguez\*, Maylin Rondón Macias\*, Elina Fernández Santana\*, Ramón Piloto-Rodríguez\*\*✉

Tabio García, D., Espinosa Acosta, C., Díaz Domínguez, Y., Rondón Macias, M., Fernández Santana, E., & Piloto-Rodríguez, R. (2018). Extracción etanólica de aceite de semillas de *Moringa oleifera*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 32-38.

#### RESUMEN

La *Moringa oleifera* es altamente valorada a nivel mundial debido a sus propiedades. Una de las partes aprovechables del árbol son las semillas. En el presente trabajo se desarrolló la extracción de aceite mediante un extractor Soxhlet a partir de semillas de *Moringa oleifera* Lam. variedad Plain de origen cubano. El porcentaje de extracción se estableció como variable respuesta en el diseño de experimentos. Los factores temperatura de extracción y relación soluto-solvente influyeron de manera significativa en la variable respuesta, teniendo asociados valores de probabilidades menores que 0,05. El modelo matemático obtenido explicó 94,03% de la variabilidad en la variable respuesta. La mejor condición para la extracción de aceite se alcanzó operando a una relación soluto-solvente 1:6 y a una temperatura de extracción de 65 °C.

**Palabras clave:** *Moringa oleifera*; semillas; aceite; secado; cinética; extracción con solventes.

**Keywords:** *Moringa oleifera*; seeds; oil; drying; kinetics; solvent extraction.

Recibido: 11 de julio de 2017, aceptado: 20 de marzo de 2018

\* Departamento de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría". Calle 114, No. 11901. e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, C. P. 19390, La Habana, Cuba. Correo electrónico: dangerss@quimica.cujae.edu.cu; cespinosaa@quimica.cujae.edu.cu; ydiaz@quimica.cujae.edu.cu; maylin91@quimica.cujae.edu.cu; elina@quimica.cujae.edu.cu

\*\* Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables, Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría". Calle 114, No. 11901. e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, C. P. 19390, La Habana, Cuba. Correo electrónico: rpiloto@ceter.cujae.edu.cu

✉ Autor para correspondencia

#### ABSTRACT

*Moringa oleifera* is highly valued worldwide due to its properties. One of the profitable parts of the tree are the seeds. In the present work the oil extraction was developed using a Soxhlet extractor from *Moringa oleifera* Lam. Plain variety seeds of Cuban origin. The percentage of extraction was established as response variable in the experimental design. The factors temperature extraction and solute-solvent ratio had a significant influence in the response factor, with probability values lower than 0.05. A mathematical model was obtained which explained the 94.03% of the variability in the response factor. The best condition for oil extraction was reached operating at a relation solute-solvent 1:6 and an extraction temperature of 65 °C.

#### INTRODUCCIÓN

Los productos útiles que se han obtenido directa o indirectamente de las plantas han demostrado la importancia que tienen para el hombre. Las plantas se utilizan como fuente de productos medicinales, sirven de fuente de alimento y energía, por lo que es necesario su estudio. En este sentido, las materias primas de origen vegetal se han convertido en un factor primordial y juegan un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad actual. Poseen gran aceptación a nivel mundial debido a sus características biodegradables, comestibles y energéticas, lo que permite suplir la explotación de los recursos no renovables que poco a poco se agotan (Díaz et al., 2014).

## MATERIALES Y MÉTODOS

En los últimos tiempos se ha incrementado el cultivo de la *Moringa oleifera* en regiones tropicales y subtropicales, específicamente en Cuba. El estudio de sus semillas tiene gran importancia, pues es una de las especies vegetales con mayor contenido de aceite (30-45%). El mismo puede tener varios usos reconocidos a nivel internacional, entre ellos están su potencialidad como biocombustible (Mofijur et al., 2014), así como ser un coagulante natural para el tratamiento de aguas residuales y usado en la industria cosmética. En la provincia de La Habana, como en el resto de Cuba, se cuenta con extensos sembrados de *Moringa oleifera*, que han demostrado buena adaptabilidad a las condiciones agroecológicas existentes en el país.

La creciente demanda en el consumo de aceites vegetales y sus derivados ha provocado la necesidad de importar materias primas para satisfacer los requerimientos de la población. En este sentido, reviste interés la búsqueda y explotación de fuentes oleaginosas nacionales no convencionales dentro de los recursos agroalimentarios con que cuenta el país. Una solución factible a esta problemática está representada en la extracción de aceite de semillas de *Moringa oleifera*; no obstante, el estudio sobre la extracción de aceite no ha sido totalmente investigado.

El hexano es el solvente más utilizado en el proceso de extracción de aceite. Las razones pueden ser su disponibilidad a un costo razonable, así como su no reactividad con el óleo, y su alta capacidad de disolver ácidos grasos a temperaturas relativamente bajas. Sin embargo, la necesidad de emplear solventes ambientalmente inocuos, menos peligrosos, no inflamables y eficientes, ha seguido siendo una fuerte motivación de interés y búsqueda continua. El etanol podría ser un solvente alternativo debido a su baja toxicidad y su carácter renovable, así se aprovecharía la gran capacidad productiva de etanol a partir de la caña de azúcar con que cuenta Cuba y podría minimizarse el impacto ambiental generado por sustancias tóxicas para estos fines.

El objetivo de este trabajo es determinar las condiciones de operación del proceso de extracción del aceite contenido en las semillas de *Moringa oleifera* Lam. variedad Plain de origen cubano empleando etanol como solvente.

**Semillas de *Moringa oleifera* Lam.**

La variedad de semilla de *Moringa oleifera* Lam. utilizada es Plain de origen cubano, procedente del Centro Internacional de Salud "La Pradera", localizado en 23° 7' 0" N, 82° 23' 0" W, La Habana, Cuba. Las semillas fueron cosechadas y almacenadas durante tres meses previos a la investigación.

**Solvente empleado para la extracción sólido-líquido**

El solvente empleado es el etanol absoluto (temperatura de ebullición 78.15 °C, gravedad específica 0.789, índice de refracción 1.361).

**Preparación de las semillas**

Las semillas se preparan para el proceso de extracción separando primeramente las cáscaras de los cotiledones (descascarado manual) ejerciendo presión sobre las semillas, posteriormente se disminuye el tamaño de partícula triturando con un mortero de laboratorio; de esta manera se garantiza que una vez en el proceso de extracción el área de contacto entre el sólido y el solvente sea mayor, con lo que se logra además favorecer la difusión del solvente en la estructura sólida.

**Secado previo al proceso de extracción. Curva de secado**

Al ser trituradas, las semillas son sometidas a un proceso de secado. La determinación se efectúa por diferencia de pesadas, utilizando una balanza analítica Sartorius BS 124S. Para el secado se emplea una estufa, modelo DHG-916A, por espacio de 2 h a una temperatura de 55 °C. De esta forma, la semilla se encuentra lista para el proceso de extracción. Para determinar la humedad se usa la ecuación 1.

$$H = \frac{(masa\ húmeda - masa\ seca)}{masa\ seca} * 100 \quad (1)$$

Para obtener la curva de secado las semillas se someten al proceso de secado con las condiciones anteriormente mencionadas, pesando muestras cada media hora hasta obtener un peso constante, lo que permite fijar la masa seca para los cálculos de humedad.

**Etapa de extracción**

Para el proceso de extracción se emplea el extractor Soxhlet. Preparadas las semillas para cada extracción, se pesa una masa de aproximadamente 10 g empleando una balanza analítica Sartorius BS 124S.

La cantidad de solvente se adiciona considerando las relaciones soluto-solvente definidas en el diseño de experimentos. En el condensador se utiliza agua como refrigerante. Las temperaturas de extracción se regulan en una plancha eléctrica IKA C-MAG HP10. Para el control de temperatura se emplea un sensor de temperatura modelo Gefran 600 RR001.

### Etapa de separación de la mezcla aceite-solvente

La mezcla aceite-solvente se somete a un proceso de rotoevaporación en un rotoevaporador IKA-WERK (HB 4 basic) para separar el aceite del solvente. La rotoevaporación se efectúa a una temperatura de 50 °C durante 10 min. Los porcentajes de extracción másico de aceite se calculan mediante la ecuación 2.

$$\% \text{ Extracción de aceite} = \left( \frac{\text{masa aceite}}{\text{masa semilla seca}} \right) * 100 \quad (2)$$

### Estudio cinético

Antes de realizar el diseño experimental se analiza el comportamiento del porcentaje de extracción en función del tiempo y se procede a fijar el tiempo de extracción para todos los casos, por lo que esta variable se considera independiente en el diseño de experimentos. Este procedimiento se realiza a la relación soluto-solvente 1:6.

### Diseño experimental

Para el diseño de experimentos se trabaja con el programa estadístico Statgraphics Centurion versión XV. Se propone un diseño factorial 2<sup>2</sup>, considerando dos factores a dos niveles: los factores considerados son la temperatura de extracción y la relación soluto-solvente, los niveles de estudio para el factor temperatura de extracción son 78 y 65 °C, y para la relación soluto-solvente, 1:4 y 1:6. Estas son relaciones masa-volumen; es decir, masa de semilla entre volumen de solvente. En todos los casos, la variable dependiente es el porcentaje de extracción de

aceite. Para todos los experimentos se hacen dos réplicas para un total de 12 experimentos. En la tabla 1 se muestran los valores reales y codificados de cada factor en estudio.

## RESULTADOS

### Preparación de las semillas. Secado

Al someter las semillas al proceso de secado durante 2 h a 55 °C se obtiene una humedad promedio de 4.82% ± 0.03. Para la realización de la curva de secado se obtiene una masa de semilla seca de 14.49 g, la cual se emplea para el cálculo de humedad en función del tiempo. La curva de secado de la variedad en cuestión (Plain) se compara con las curvas para las variedades cubanas Criolla y Supergenius con el objetivo de conocer el porcentaje de humedad previo al proceso de extracción (figura 1).

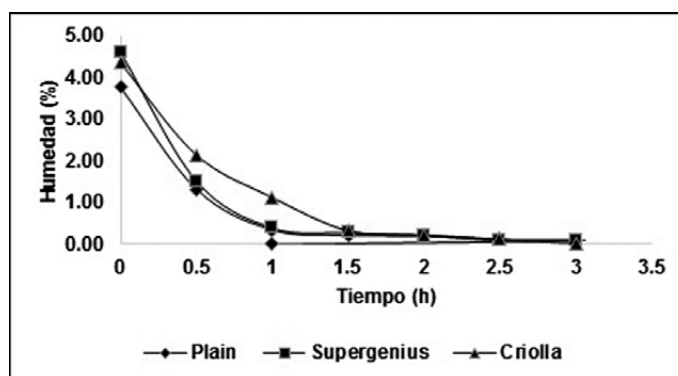


Figura 1. Curva de secado. Elaboración propia.

Al ser desconocida la cinética del proceso de extracción para la variedad *Moringa oleifera* Plain de origen cubano, se analiza el comportamiento del porcentaje de extracción de aceite para la relación soluto-solvente 1:6 a diferentes tiempos. El estudio cinético se realiza con la finalidad de realizar las extracciones a un tiempo constante y, de esta manera, fijar este parámetro para todas las extracciones. En la figura 2 se muestra la curva obtenida.

### Extracción de aceite. Diseño experimental

La variable fundamental que se evalúa es el porcentaje de extracción de aceite y para esto se definen como factores influyentes la temperatura de extracción y la relación soluto-solvente. En la tabla 2 se definen los porcentajes de extracción.

Tabla 1  
Niveles de variación de los factores

Factor	Valor real	Valor codificado
Temperatura de extracción (°C)	78	1
	65	-1
Relación soluto-solvente (g de semilla/volumen de solvente)	1-6	1
	1-4	-1

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2  
Porcentajes de extracción de aceite en las condiciones de estudio

Temperatura de extracción	Relación soluto-solvente	Extracción de aceite (%)
-1,0	1,0	27,85
1,0	-1,0	16,64
-1,0	-1,0	25,81
1,0	1,0	21,81
-1,0	1,0	29,90
1,0	-1,0	14,25
-1,0	-1,0	28,98
1,0	1,0	19,91
-1,0	1,0	26,95
1,0	-1,0	16,84
-1,0	-1,0	24,87
1,0	1,0	18,01

Nota: Elaboración propia.

Tabla 3  
Análisis de varianza para el porcentaje de extracción

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F-Radio	P-Valor
A:Temperatura	269,801	1	269,801	83,87	0,0001
B:Relación	24,1968	1	24,1968	7,52	0,0336
AB	4,0368	1	4,0368	1,25	0,3054
Error total	19,3003	19,3003	19,3003		

Nota: Elaboración propia.

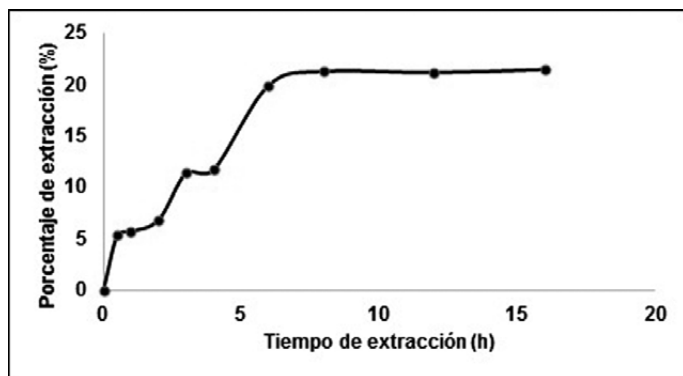


Figura 2. Influencia del tiempo de reacción en el porcentaje de extracción de aceite.  
Elaboración propia.

### Análisis estadístico del diseño experimental

El diseño experimental que se propone es un diseño factorial  $2^2$  con dos réplicas, y su procesamiento permite la obtención de un modelo que explica el comportamiento de la extracción de aceite de semillas de *Moringa oleifera* Lam., teniendo en cuenta las condiciones experimentales estudiadas. El modelo en variables codificadas que se obtiene se representa por la ecuación 3.

$$E = 22,6517 - 4,74167 * T + 1,42 * R + 0,58 * T * R \quad (3)$$

Donde:

E: porcentaje de aceite extraído

R: relación soluto-solvente

T: temperatura de extracción

El estadígrafo R-Cuadrado ( $R^2$ ) indica que el modelo, así ajustado, explica 94.03% de la variabilidad en el porcentaje de extracción de aceite. Los efectos se analizan a partir del diseño, donde se ha particionado la variabilidad del porcentaje de extracción de aceite para cada uno de los mismos. La tabla 3 contiene el análisis de varianza.

En este caso, los dos factores en estudio tienen valores de probabilidad menores que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza de 95%. La relación soluto-solvente incide de forma positiva, mientras que la temperatura de extracción para los niveles establecidos en el estudio incide en la variable respuesta de manera negativa. El modelo en variables codificadas que se obtiene excluyendo la interacción entre el factor relación soluto-solvente y la temperatura de extracción se representa por la ecuación 4.

$$E = 22,6517 - 4,74167 * T + 1,42 * R \quad (4)$$

A partir del análisis de varianza para la variable respuesta Porcentaje de extracción de aceite se obtiene el valor del coeficiente Durbin-Watson. El estado deseado se encuentra en el entorno de dos, y esto ocurre cuando la probabilidad es mayor que 0.05. En el diseño de experimentos que se analiza tiene un valor de 2.90884 asociado a una probabilidad de 0.8557. De esta manera, se puede afirmar que no existe correlación alguna en los errores, o lo que es equivalente, hay independencia entre los mismos. Para las condiciones estudiadas el mejor valor tomado como criterio para maximizar el porcentaje de aceite extraído es de 28.23% para una relación soluto-solvente 1:6 y una temperatura de 65 °C.

## DISCUSIÓN

### Preparación de las semillas. Secado

En la figura 1 se observa que en 2 h las semillas de las variedades Plain, Criolla y Supergenius poseen una humedad de 0.20, 0.23 y 0.22%, respectivamente, lo que demuestra la similitud en estos valores y que la condición establecida de 2 h a 55 °C en el secado es efectiva y garantiza un bajo porcentaje de humedad de modo previo al proceso de extracción de aceite. Anwar y Bhangar (2003) extrajeron aceite de semillas de *Moringa oleifera* cultivadas en 12 ciudades de Pakistán, las mismas fueron colectadas durante los meses de julio y agosto. La humedad determinada a estas semillas evidenció un valor promedio de  $5.70 \pm 0.42$ . Igualmente, Ortiz Palafox et al. (2012) reportaron para semillas de la península de Yucatán una humedad de 5.84%.

Si se realiza una comparación con los resultados obtenidos en esta investigación, la humedad en las semillas de *Moringa oleifera* variedad Plain es inferior. Sin embargo, no se reportan las condiciones a las que se determina la humedad en las variedades de Pakistán y Yucatán, y las diferencias pueden estar relacionadas con la calidad de las semillas utilizadas, desde su cosecha hasta el almacenamiento. Igualmente, para las variedades cubanas Criolla y Supergenius se obtienen humedades de 4.36 y 4.61%, respectivamente. Es importante tener en cuenta que los porcentajes de humedad reportados en la literatura son los iniciales, y no se conoce con exactitud la humedad de la muestra para su posterior tratamiento.

### Estudio cinético

En la figura 2 se evidencia un comportamiento exponencial, lo que indica un incremento en la extracción del aceite en el tiempo; sin embargo, existe un valor de tiempo a partir del cual la cantidad de aceite que se extrae es prácticamente constante, lo que se evidencia por un comportamiento asintótico de las curvas. El tiempo de extracción que se selecciona es de 6 h, con ello se garantiza extraer cerca de la zona donde comienza el comportamiento asintótico.

### Extracción de aceite. Diseño experimental

La tabla 2 muestra que los porcentajes de extracción varían en un intervalo entre 14 y 30%. Los resultados revelan que los mayores porcentajes de extracción se obtienen a una temperatura de extracción de 65 °C y una relación soluto-solvente 1:6. La influencia de la relación soluto-solvente viene dada que a mayor relación soluto-solvente mayor porcentaje de extracción, ya que debido a la polaridad y volatilidad del etanol hay que extraer con volúmenes más grandes para asegurar una correcta operación, y la no existencia de explosión al quedar seco el balón.

Con respecto a la temperatura se conoce que un aumento de la temperatura favorece la solubilidad del soluto en el solvente y aumenta el coeficiente de difusividad en las partículas del sólido. Lo antes explicado demuestra que al aumentar la temperatura aumenta el porcentaje de extracción de aceite. La causa de una proporcionalidad inversa entre la temperatura y el porcentaje de extracción en este estudio viene dado por posibles reacciones químicas paralelas (reacción de transesterificación) que se presentan cuando se trabaja a temperaturas superiores a 70 °C entre el aceite y el etanol, lo que disminuye el porcentaje de extracción y propicia la coloración oscura del producto extraído. Este planteamiento es demostrado por Efeovbokhan, Hymore, Raji y Sanni (2015), quienes reportaron dicho comportamiento.

Abdulkareem, Uthman, Afolabi y Awenebe (2011) reportaron porcentajes entre 20-30% empleando etanol para semillas colectadas en el estado de Niger, Nigeria. Ortiz Palafox et al. (2012) empleando el mismo solvente obtuvieron 25% de extracción en semillas molidas. Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con los citados anteriormente, se evidencia que existe correspondencia. Lalas y Tsaknis (2002) reportaron para la variedad Periyakulam 1 de la India un porcentaje de 38.3%, mientras que Latif y Anwar (2008) 38.40%

con semillas de la variedad Concanesis de Pakistán, y Garba, Medugu, Gwaski y Amusat (2015) 39% de extracción en semillas molidas del estado de Borno, Nigeria.

Adegbe, Larayetan y Omojuwa (2016) obtuvieron 38% de extracción con semillas colectadas en el oeste del estado de Kwara, Efeovbokhan et al. (2015) alcanzaron 34.71% de semillas provenientes del estado de Oyo, ambas de Nigeria, y Oliveira et al. (2012) 40% de semillas colectadas en el estado de Río Grande, Brasil. También Adejumo, Alakowe y Obi (2013) mediante semillas originarias de KureMarket en el estado de Niger, Nigeria, logran obtener un 33.7%, y Goja (2013) 34.5% empleando semillas provenientes de Ed Deium, Sudán. Las extracciones de dichos trabajos se llevaron a cabo utilizando hexano como solvente. Mani, Jaya y Vadivambal (2007) alcanzaron un máximo porcentaje de 31.8% empleando éter de petróleo en semillas de la variedad Periyakulam 1. Efeovbokhan et al. (2015) emplearon éter de petróleo para extraer semillas provenientes del estado Kaduna y Oyo, del norte y sureste de Nigeria, y obtuvieron un porcentaje promedio de 37.57%.

Es de notar que los porcentajes de extracción obtenidos con etanol son menores con respecto a los alcanzados con hexano y éter de petróleo. La limitación está dada por la polaridad del etanol. El aceite que se extrae está formado por moléculas apolares, polaridad similar a la del hexano y el éter de petróleo; sin embargo, el etanol está formado por moléculas polares. Es importante destacar que el empleo del etanol absoluto garantiza una baja toxicidad, menor costo de adquisición y mayor disponibilidad, lo que evidencia su aplicabilidad. En las figuras 3 y 4 se muestran las dos muestras de aceite obtenido a las dos temperaturas en estudio (65 y 78 °C), respectivamente.

En la figura 3 es evidente la diferencia en el color del aceite obtenido. Esto es debido a la reacción de transesterificación que propicia la obtención de glicerina como subproducto (Efeovbokhan et al.,



Figura 3. Aceite extraído a 65 y 78 °C, respectivamente. Imagen del equipo de investigación.

2015), cuando se extrae a una temperatura mayor que 70 °C. Por esta razón es favorable extraer a 65 °C, alcanzando mayores porcentajes de extracción y evitando la coloración oscura del aceite.

## CONCLUSIONES

Se demuestra que para las condiciones estudiadas la extracción de aceite de las semillas de *Moringa oleifera* variedad Plain de origen cubano logra un porcentaje de extracción de 29.90%. Los factores temperatura de extracción y relación soluto-solvente influyen significativamente en el proceso de extracción de aceite. El modelo obtenido a partir del diseño de experimentos establecido explica 94.03% de la variabilidad del porcentaje de extracción de aceite. El mayor porcentaje se obtuvo a 6 h, una relación soluto-solvente 1:6 y a 65 °C. Se comprueba que en las extracciones realizadas a temperaturas superiores a 70 °C se produce una disminución del porcentaje de extracción y un cambio en la coloración del aceite propiciado por reacciones químicas paralelas, lo que no ocurrió así a 65 °C.

REFERENCIAS

- Abdulkareem, A. S., Uthman, H., Afolabi, A. S., & Awenebe, O. L. (2011). Extraction and optimization of oil from *Moringa oleifera* seed as alternative feedstock for the production of biodiesel. En M. Nayeripour, & M. Kheshti (Eds.), *Sustainable growth and applications in renewable energy sources* (cap. 12, pp. 244-268). Croatia-China: InTech. doi: 10.5772/25855
- Adegbe, A. A., Larayetan, R. A., & Omojuwa, T. J. (2016). Proximate analysis, physicochemical properties and chemical constituents characterization of *Moringa oleifera* (Moringaceae) seed oil using GC-MS analysis. *American Journal of Chemistry*, 6(2), 23-28.
- Adejumo, B. A., Alakowe, A. T., & Obi, D. E. (2013). Effect of heat treatment on the characteristics and oil yield of *Moringa oleifera* seeds. *The International Journal of Engineering And Science (IJES)*, 2(1), 232-239.
- Anwar, F., & Bhanger, M. I. (2003). Analytical characterization of *Moringa oleifera* seed oil grown in temperate regions of Pakistan. *Agricultural and Food Chemistry*, 51(22), 6558-6563.
- Anwar, F., & Rashid, U. (2007). Physico-chemical characteristics of *Moringa oleifera* seeds and seed oil from a wild provenance of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 39(5), 1443-1453.
- Díaz, Y., Rodríguez, S., Ferrer, C., Mazorra, M., Fernández, E., & Zumalacárregui, B. (2014). *Biocombustibles para su uso en motores Diesel*. La Habana: IDICT.
- Efeovbokhan, V. E., Hymore, F. K., Raji, D., & Sanni, S. E. (2015). Alternative solvents for *Moringa oleifera* seeds extraction. *Journal of Applied Sciences*, 15(8), 1073-1082.
- Garba, A. A., Medugu, D. W., Gwaski, P. A., & Amusat, R. O. (2015). Extraction and characterization of *Moringa oleifera* seed oil. *Applied Research Journal*, 1(9), 473-477.
- Goja, A. M. (2013). Physico-chemical properties of oil produced from *Moringa oleifera*, *Jatropha curcas* and *Carthamus tinctorius* L. seeds. *International Journal of Advanced Research*, 1(4), 181-187.
- Lalas, S., & Tsaknis, J. (2002). Characterization of *Moringa oleifera* seed oil variety "Periyakulam 1". *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(1), 65-77.
- Latif, S., & Anwar, F. (2008). Quality assessment of *Moringa concanensis* seed oil extracted through solvent and aqueous-enzymatic techniques. *Grasas y Aceites*, 59(1), 69-75.
- Mani, S., Jaya, S., & Vadivambal, R. (2007). Optimization of solvent extraction of *Moringa oleifera* seed kernel oil using response surface methodology. *Food and Bioprocess Processing*, 85(C4), 328-335.
- Mofijur, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Atabani, A. E., Arbab, M. I., Cheng, S. F., & Gouk, S. W. (2014). Properties and uses of *Moringa oleifera* biodiesel and diesel blends in a multi-cylinder diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 82, 169-176.
- Oliveira, D. S., Fonseca, X. D. S., Farias, P. N., Bezerra, V. S., Pinto, C. H. C., Souza, L. D., ..., & Matias, L. G. O. (2012). Obtenção do biodiesel a través do transesterificação do óleo de *Moringa oleifera* Lam. *HOLOS*, 1, 49-61.
- Ortiz Palafox, J., Navarrete, A., Sacramento-Rivero, J. C., Rubio-Atoche, C., Acereto Escoffie, P., & Rocha-Urbe, J. A. (2012). Extraction and characterization of oil from *Moringa oleifera* using supercritical CO<sub>2</sub> and traditional solvents. *American Journal of Analytical Chemistry*, 3, 946-949.

## Metales pesados en sedimentos de la Laguna de Bustillos, Chihuahua, México y comparación de agua regia y peróxido de hidrógeno como métodos de digestión

### Heavy metals in sediments of the Bustillos Lagoon, Chihuahua, Mexico and comparison of aqua regia and hydrogen peroxide as digestion methods

Héctor Osbaldo Rubio-Arias\*✉, Pamela Fernanda Mejía-Leyva\*, Leonor Cortés-Palacios\*, Jesús Manuel Ochoa-Rivero\*\*, Celia De La Mora-Orozco\*\*\*

Rubio-Arias, H. O., Mejía-Leyva, P. F., Cortés-Palacios, L., Ochoa-Rivero, J. M., & De La Mora-Orozco, C. Metales pesados en sedimentos de la Laguna de Bustillos, Chihuahua, México y comparación de agua regia y peróxido de hidrógeno como métodos de digestión. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 39-47.

#### RESUMEN

El objetivo fue conocer la contaminación por metales en sedimentos de la Laguna de Bustillos y comparar dos métodos de digestión (agua regia y peróxido). Se obtuvieron muestras en 15 puntos aleatorios de la superficie (0-10 cm) y de la parte inferior (10-20 cm). El análisis se realizó en un ICP-OES cuantificando cromo (Cr), hierro (Fe), litio (Li), magnesio (Mg), manganeso (Mn), níquel (Ni), zinc (Zn), cobalto (Co), cobre (Cu), plomo (Pb) y estroncio (Sr). Se efectuó un ANOVA bajo un arreglo factorial 2x2. Los resultados mostraron diferencias por el método de digestión ( $P < 0.05$ ), pero no por profundidad ( $P > 0.05$ ) o la interacción ( $P > 0.05$ ). La concentración de Cr, Fe, Mn, Ni, Zn, Cu y Pb no superó las normas nacionales o internacionales y para Li, Mg, Co y Sr no existen estándares. Se concluye que el sedimento se encuen-

tra con niveles de metales que no representan un peligro para el ecosistema.

#### ABSTRACT

The aim was to quantify the level of pollution with metals in sediments of the Bustillos Lagoon and to compare two methods of digestion (aqua regia and peroxide). Fifteen random points were selected, and samples were collected at the top (0-10 cm) and below (10-20 cm). The analysis was performed in a ICP-OES quantifying chromium (Cr), iron (Fe), lithium (Li), magnesium (Mg), manganese (Mn), nickel (Ni), zinc (Zn), cobalt (Co), copper (Cu), lead (Pb) and strontium (Sr). An ANOVA was carried out considering a 2x2 factorial arrangement. The results showed statistical differences for the digestion method ( $P < 0.05$ ), but no differences was noted for depth ( $P > 0.05$ ) neither for the interaction ( $P > 0.05$ ). It is concluded that the sediments of the Bustillos ecosystem do not represent a hazard because the metals Cr, Fe, Mn, Ni, Zn, Cu and Pb were not above the international and national standards and the metals Li, Mg, Co and Sr do not have standards.

**Palabras clave:** sedimentación; polución; elementos pesados; ecosistema acuático.

**Keywords:** sedimentation; pollution; heavy metals; aquatic ecosystem.

Recibido: 10 de junio de 2017, aceptado: 12 de enero de 2018

\* Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada km 1 carretera Chihuahua-Cuauhtémoc, Colonia Zootecnia, C. P. 31031, Chihuahua, México. Correo electrónico: rubioa1105@hotmail.com; pfernanda.mejia@gmail.com; lcortes@uach.mx

\*\* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias campo experimental La Campana. Km 33.3 carretera Chihuahua-Ojinaga, Aldama, C. P. 32910, Chihuahua, México. Correo electrónico: chuy-8-a@hotmail.com

\*\*\* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias campo experimental Centro Altos de Jalisco. Km. 8 carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, Tepatitlán de Morelos, C. P. 47600, Jalisco, México. Correo electrónico: delamora.celia@inifap.gob.mx

✉ Autor para correspondencia

#### INTRODUCCIÓN

El nombre genérico de sedimentos se utiliza con respecto a partículas de rocas o suelos que son transportadas por diversos mecanismos y luego sedimentan. Estos materiales son depositados en lagos, ríos, presas, así como en planicies, e incluso, en el mar (White et al., 2007). Los sedimentos pueden provenir de una fuente natural, o bien, de un efecto antropogénico. Por ejemplo, la erosión es considera-



da como una fuente natural debido al proceso de deslizamiento de materiales, mientras que un efecto antropogénico lo representa un cambio de uso del suelo, sitios de construcción, así como desechos mineros, urbanos e industriales realizados por el hombre (García & Maza, 1998; Lin, Liu, Zhang, Li, & Shen, 2016; Zhang, Wang, Ali, & DeLaune, 2016), lo que en consecuencia, incrementa el nivel de sedimentos y ocasiona una amenaza para los ecosistemas y la humanidad (Alemayehu, 2006; CCME, 2002).

Los metales presentan una alta densidad y suelen ser tóxicos o venenosos, incluso en concentraciones bajas. Esta peligrosidad se explica por el hecho de no ser degradables, ni química, ni biológicamente. Una vez en el ambiente pueden permanecer largos periodos de tiempo, representar un gran peligro y alto riesgo, y causar la destrucción de fauna y flora.

Entre los metales considerados más riesgosos, desde un punto de vista ambiental, se encuentran el mercurio (Hg), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu) y plomo (Pb) (Páez-Osuna, 1996). Otros, como el fierro (Fe) y el manganeso (Mn) son elementos considerados como esenciales; no obstante, cuando se tiene una alta concentración, los organismos experimentan algún grado de estrés y disminuyen sus posibilidades de sobrevivir (Chen et al., 2017). En general, se ha demostrado que tanto los metales como algunos compuestos (p. e. orgánicos) pueden ser removilizados por un efecto de bioperturbación y/o resuspensión (Sprovieri et al., 2007). Zhang et al. (2016) mencionaron que los sedimentos tienen la particularidad de reunir metales y representan un indicador del nivel de contaminación de un ecosistema acuático.

La Laguna de Bustillos, en el norte de México, ha sido considerada como un ícono ecológico que presenta una problemática de modificación por efectos de la deforestación de su cuenca, la desecación por una sobreexplotación de los mantos freáticos y contaminación por acarreo de agroquímicos, desechos sólidos y aguas residuales urbanas (Ochoa-Rivero et al., 2017; Rubio Arias et al., 2006). Estudios previos han demostrado que el agua está contaminada (Rubio Arias, Saucedo, Lara, Wood, & Jiménez, 2005a) y sus peces presentan altos niveles de Zn y Sr en agallas y músculo (Rodríguez, 2013). En otro estudio, Amado, Ortiz, Solano, Orozco y Ramírez (1991) clasificaron el agua como C3S3, la cual no es recomendable para cultivos agrícolas, debido al

alto contenido de sales, de carbonatos de sodio y de elementos tóxicos. Un agua tipo C3S3 contiene un nivel de salinidad entre 750 y 2,200  $\mu\text{S cm}^{-1}$  y, en consecuencia, es peligrosa.

El objetivo fue cuantificar el nivel de contaminación por metales en sedimentos de la Laguna de Bustillos en Chihuahua, México, y comparar el método de agua regia y el peróxido de hidrógeno como técnicas de digestión. La hipótesis fue que, debido a que el agua se encuentra contaminada, los sedimentos también contienen niveles que pueden representar un problema para el ecosistema. Una segunda hipótesis fue que existen diferencias entre métodos de digestión, por lo que es necesario cuantificar esas diferencias. El proceso de digestión permite transformar los metales a una forma líquida para su posterior cuantificación. Estos resultados aportarán elementos para la predicción o corrección de este ecosistema acuático, y sugerirán futuras investigaciones para la utilización del mejor método de digestión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se condujo en la Laguna de Bustillos, que se localiza en el municipio de Cuauhtémoc, Chihuahua, México (figura 1). Este cuerpo de agua natural cuenta con una longitud de 25 a 30 km y un ancho de 4 km y se encuentra en las coordenadas de latitud 28° 28' 48" N, longitud 106° 44' 39" O y una altitud de 1,992 m.s.n.m. Es un ecosistema endorreico localizado en la región hidrográfica de Cuencas Cerradas del Norte y donde la subcuenca presenta flujos virtuales, no perennes de agua. Los usos de suelo que se pueden encontrar en sus alrededores son bosques de encino y pino, pastizales inducidos y natural halófitos y tierras destinadas a la agricultura de riego y temporal, a las cuales se les puede atribuir parte de la contaminación que se presenta en la laguna (CONAGUA, s. f.).

Las muestras de sedimentos se obtuvieron los días 21 y 22 de mayo de 2013. De modo previo a la toma de muestras, en gabinete se seleccionaron 15 puntos aleatorios, obtenidos al cuadricular el área total utilizando imágenes satelitales en el programa Google™ Earth y ArcGIS®. En cada sitio seleccionado se tomaron dos muestras de sedimento (2 kg); en la parte superficial (0-10 cm) y en la parte inferior (10-20 cm). Las muestras se depositaron en plastibolsas, se identificaron y fueron trasladadas al laboratorio de parámetros ambientales de la Facultad de

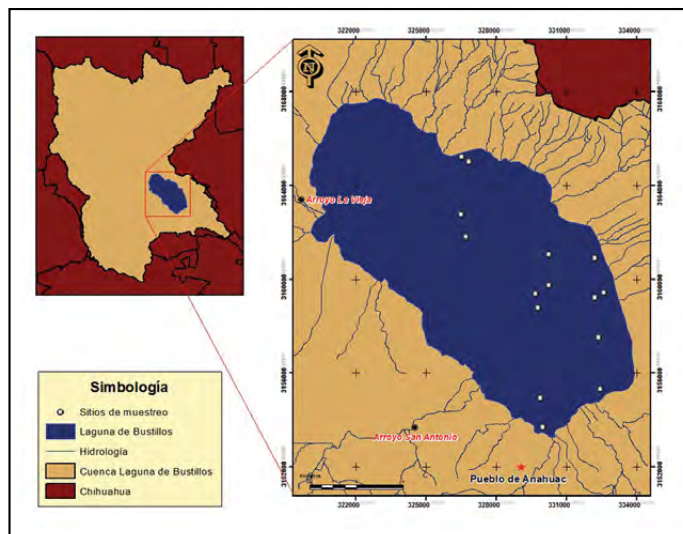


Figura 1. Localización del sistema acuático Laguna de Bustillos en el estado de Chihuahua, México. Elaboración propia.

Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Las muestras se secaron a temperatura ambiente, asegurándose que la temperatura no excediera los 35 °C y una humedad relativa de 30 y 70%.

### Análisis de metales pesados

Para el análisis de las muestras se realizó un tamizado utilizando una criba de 2 mm y se pesó 1 g de la muestra. Se emplearon dos métodos para la digestión; en el primero se utilizó agua regia, donde a la muestra se le agregaron 7.5 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl-C) y 2.5 ml de ácido nítrico concentrado (HNO<sub>3</sub>-C), y se dejó reposar por 24 h. Se llevaron a reflujo hasta un volumen de 5 ml, y se le agregaron nuevamente 7.5 ml de HCl-C y 2.5 ml de HNO<sub>3</sub>-C, continuando el reflujo hasta un volumen de 5 ml.

El segundo método fue con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), donde se agregaron 10 ml de HNO<sub>3</sub>-C. Los matraces se taparon con un vidrio de reloj y se calentaron durante 15 min hasta hervor, se dejaron reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Se procedió a agregarles 5 ml de HNO<sub>3</sub>-C hasta que dejaron de reaccionar. Se adicionaron 2 ml de agua tridestilada y 3 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para que reaccionaran, se agregaron 2 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y se procedió al filtrado, para lo cual se colocó papel filtro sobre embudos y sobre el papel se agregó agua tridestilada. Una vez realizadas las digestiones, las muestras se analizaron en un espectrofotómetro de emisión óptica por

plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), y se cuantificaron cromo (Cr), hierro (Fe), litio (Li), magnesio (Mg), manganeso (Mn), níquel (Ni), zinc (Zn), cobalto (Co), cobre (Cu), plomo (Pb) y estroncio (Sr).

### Análisis estadístico

Se implementó un análisis de varianza (ANOVA) considerando un diseño de tratamientos factorial 2x2. El factor A fue la profundidad con dos niveles; superior (0-10 cm) e inferior (10-20 cm). El factor B fue el método de digestión con dos niveles; agua regia y con peróxido. Se graficaron efectos mayores y de interacción para visualizar los datos obtenidos, como lo sugieren Rubio Arias y Jiménez (2012). El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}, \text{ con } i=1,2; j=1,2$$

donde:

$Y_{ijk}$  = Respuesta de la k-ésima repetición en el i-ésimo nivel del factor A y j-ésimo nivel del factor B

$\mu$  = Media General

$\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo nivel del factor A

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de interacción entre factor A y factor B

$\epsilon_{ijk}$  = Error asociado a la observación ijk-ésima

## RESULTADOS

El Cr fue estadísticamente diferente por el factor método ( $P < 0.05$ ), pero no para la profundidad ( $P > 0.05$ ) ni para la interacción ( $P > 0.05$ ). La media con peróxido fue de 8.79 mg kg<sup>-1</sup> (figura 2) y con agua regia fue de 1.198 mg kg<sup>-1</sup> (figura 3), mientras que para la profundidad de 0.10 m fue de 4.98 mg kg<sup>-1</sup> y para la de 0.20 m fue de 5.01 mg kg<sup>-1</sup> (figura 4). El Fe fue estadísticamente diferente por el factor método ( $P < 0.05$ ), pero no para la profundidad ( $P > 0.05$ ) ni para la interacción ( $P > 0.05$ ). La media con peróxido fue de 4,408 mg kg<sup>-1</sup> y con agua regia de 2,082 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que para la profundidad de 0.10 m fue de 3,174 mg kg<sup>-1</sup> y para la de 0.20 m fue de 3,315 mg kg<sup>-1</sup> (figura 4).

El Li fue estadísticamente diferente por el factor método ( $P < 0.05$ ), pero no para la profundidad ( $P > 0.05$ ) ni para la interacción ( $P > 0.05$ ). La media con peróxido fue de 9.42 mg kg<sup>-1</sup> y con agua regia fue de 3.96 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que para la profundidad de 0.10 m fue de 7.21 mg kg<sup>-1</sup> y para la de 0.20 m fue de 6.17 mg kg<sup>-1</sup> (figura 4). El Mg fue estadísticamente diferente por el factor método ( $P < 0.05$ ),

pero no para la profundidad ( $P>0.05$ ) ni para la interacción ( $P>0.05$ ). La media con peróxido fue de  $2,092 \text{ mg kg}^{-1}$  y con agua regia fue de  $1,424 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que para la profundidad de  $0.10 \text{ m}$  fue de  $1,823 \text{ mg kg}^{-1}$  y para la de  $0.20 \text{ m}$  fue de  $1,692 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 4).

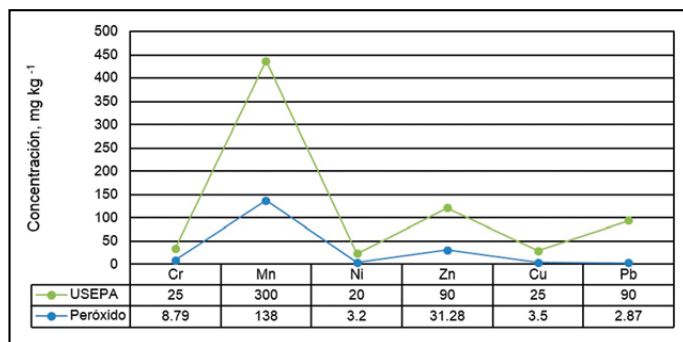


Figura 2. Medias de metales pesados cuantificados con el método de peróxido y los límites establecidos por la US EPA. Elaboración propia.

El Mn fue estadísticamente diferente por el factor método ( $P<0.05$ ), pero no para la profundidad ( $P>0.05$ ) ni para la interacción ( $P>0.05$ ). La media con peróxido fue de  $138 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 2) y con agua regia fue de  $87.85 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 3), mientras que para la profundidad de  $0.10 \text{ m}$  fue de  $109.2 \text{ mg kg}^{-1}$  y para la de  $0.20 \text{ m}$  fue de  $116.7 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 4). El Ni fue estadísticamente diferente por el factor método ( $P<0.05$ ), pero no para la profundidad ( $P>0.05$ ) ni para la interacción ( $P>0.05$ ). La media con peróxido fue de  $3.20 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 2) y con agua regia fue de  $0.499 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 4), mientras que para la profundidad de  $0.10 \text{ m}$  fue de  $1.777 \text{ mg kg}^{-1}$  y para la de  $0.20 \text{ m}$  fue de  $1.923 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 4).

El Zn fue estadísticamente diferente por el factor método ( $P<0.05$ ), pero no para la profundidad ( $P>0.05$ ) ni para la interacción ( $P>0.05$ ). La media con peróxido fue de  $31.28 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 2) y con agua regia de  $6.77 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 3), mientras que para la profundidad de  $0.10 \text{ m}$  fue de  $21.92 \text{ mg kg}^{-1}$  y para la de  $0.20 \text{ m}$  fue de  $16.14 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 4). El Co no fue estadísticamente diferente por el factor método ( $P<0.05$ ) ni para la profundidad ( $P>0.05$ ) ni la interacción ( $P>0.05$ ). La media con peróxido fue de  $0.726 \text{ mg kg}^{-1}$  y con agua regia fue de  $0.2750 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que para la profundidad de  $0.10 \text{ m}$  fue de  $0.554 \text{ mg kg}^{-1}$  y para la de  $0.20 \text{ m}$  fue de  $0.477 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 4).

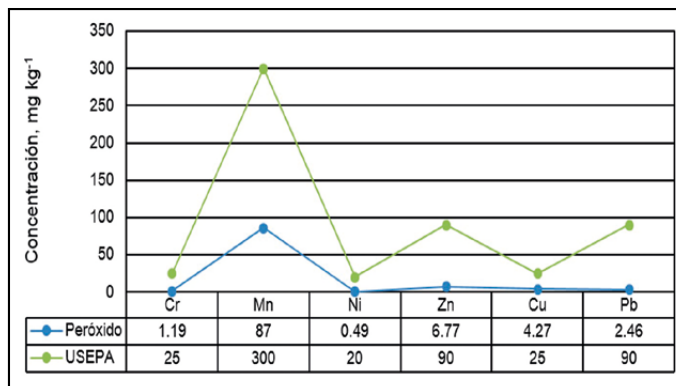


Figura 3. Medias de metales pesados cuantificadas por el método de agua regia y los límites establecidos por la US EPA. Elaboración propia.

El Cu no fue estadísticamente diferente por el factor método ( $P>0.05$ ) ni para la profundidad ( $P>0.05$ ) ni la interacción ( $P>0.05$ ). La media con peróxido fue de  $3.504 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 2) y con agua regia fue de  $4.27 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 3), mientras que para la profundidad de  $0.10 \text{ m}$  fue de  $2.833 \text{ mg kg}^{-1}$  y para la de  $0.20 \text{ m}$  fue de  $4.94 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 4). El Pb no fue diferente por el factor método ( $P>0.05$ ) ni para la profundidad ( $P>0.05$ ) ni la interacción ( $P>0.05$ ). La media con peróxido fue de  $2.872 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 2) y con agua regia fue de  $2.466 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 3), mientras que para la profundidad de  $0.10 \text{ m}$  fue de  $2.441 \text{ mg kg}^{-1}$  y para la de  $0.20 \text{ m}$  fue de  $2.897 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 4). El Sr no fue diferente por el factor método ( $P>0.05$ ) ni para la profundidad ( $P>0.05$ ) ni la interacción ( $P>0.05$ ). La media con peróxido fue de  $74.76 \text{ mg kg}^{-1}$  y con agua regia fue de  $56.24 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que para la profundidad de  $0.10 \text{ m}$  fue de  $68.31 \text{ mg kg}^{-1}$  y para la de  $0.20 \text{ m}$  fue de  $62.69 \text{ mg kg}^{-1}$  (figura 4).

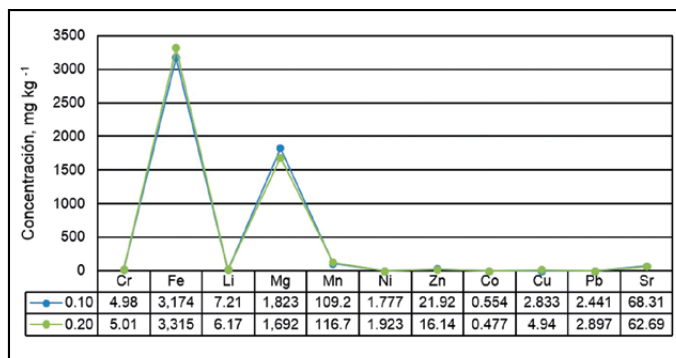


Figura 4. Medias de metales pesados en sedimentos cuantificados a dos profundidades. Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

Para el Cr en un estudio similar realizado en el Lago Pontchartrain en los Estados Unidos de Norteamérica (EE. UU.), los investigadores Zhang et al. (2016) reportaron valores en sedimentos en un rango de 5.32 a 13.14 mg kg<sup>-1</sup> y utilizaron para el proceso de digestión de metales HNO<sub>3</sub>, HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. En este estudio en particular las concentraciones no rebasaron los criterios establecidos por la US EPA (United States Environmental Protection Agency), ya que quedaron dentro del rango de "no contaminado": hasta 25 mg kg<sup>-1</sup>. Además, al considerar las concentraciones de referencia totales (CR<sub>T</sub>) para remediación de suelo para uso agrícola/residencial en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (SEMARNAT, 2007) los niveles no sobrepasaron la referencia de 280 mg kg<sup>-1</sup>, por lo que se puede establecer que este metal no representa un potencial peligro.

Guzmán-Colis et al. (2011), en el río San Pedro en Aguascalientes, documentaron que 25% de los sedimentos estuvieron moderadamente contaminados con este metal. En este estudio, el proceso de digestión fue el recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., la US EPA. En otro estudio, el Cr se detectó en sedimentos de la costa este de EE. UU. en concentraciones de 3.8 a 130.9 µg/g en el año de 1994 y de 0.8 a 98.1 µg/g en 1995 (Hyland, Van Dolah, & Snoots, 1999). Este metal se acumula en áreas donde se han establecido plantas de pinturas, como el mencionado por Schuck, Gevalt, Mullen, Menzie y Fogarty (2004), quienes encontraron altos niveles en sedimentos del Lago Waban, cercano a dicha planta.

Otro ejemplo es el nivel de Cr en sedimentos de un lago cercano a una zona industrial, donde se detectaron valores de hasta 3,712 mg kg<sup>-1</sup> (Environment Canada, 1998). En otro estudio, realizado en el río Turag en Bangladesh, los investigadores Banu, Chowdhury, Hossain y Nakagami (2013) encontraron concentraciones de Cr en un rango de 32.00-75.50 mg kg<sup>-1</sup>. Para la lectura de metales se separaron 5 g de sedimentos y se realizó una digestión ácida con HNO<sub>3</sub>.

Las concentraciones de Fe en los sedimentos no rebasaron los criterios establecidos por la US EPA; es decir, están dentro del rango de no contaminado: hasta 17,000 mg kg<sup>-1</sup>. Es importante mencionar que el método de peróxido fue el que detectó una mayor cantidad con 4,408 mg kg<sup>-1</sup>. Rubio Arias, Sau-

cedo, Wood, Nuñez y Jiménez (2005b) encontraron niveles de 5.14 ppm como promedio en seis puntos aleatorios de un área ribereña en el río Conchos, cercano a la zona de presente estudio. Este estudio utilizó un método de digestión con la aplicación de agua regia. En otro estudio, Márquez, Senior, Martínez, Castañeda y González (2008) encontraron valores en los sedimentos de la laguna de Castillejo, Venezuela, que oscilaron entre 1,821.58 µg/g y 3,768.42 µg/g, con un promedio de 3,768.42 µg/g. Para el análisis de metales, estos investigadores condujeron una digestión ácida con una mezcla en proporción 3:1:1 de HNO<sub>3</sub>, HCl y HClO<sub>4</sub>.

Para el elemento Li actualmente no existe normatividad que establezca límites máximos permisibles (LMP) en sedimentos o suelos. En el presente estudio, el método de peróxido detectó niveles con una media de 9.42 mg kg<sup>-1</sup>. Se calcula que en México desde la década de los noventa se han generado aproximadamente 77 t por el uso y desecho de baterías. Debido a su baja adsorción, este metal puede lixiviarse fácilmente a los mantos freáticos, por lo que se ha encontrado en pequeñas cantidades en peces (Castro Díaz & Díaz Arias, 2004). Se debe puntualizar que este elemento ha sido ampliamente utilizado en el tratamiento de desórdenes mentales como esquizofrenia y trastorno bipolar (Mohandas & Rajmohan, 2007). No obstante, su uso para el tratamiento bipolar puede ocasionar problemas renales en adultos mayores (Anónimo, 2010). Es importante mencionar que el cuerpo acuático bajo estudio recibe las descargas provenientes de las ciudades de Cuauhtémoc y Anáhuac, las cuales pueden estar aportando este metal.

Para el elemento Mg no existe normatividad que establezca los LMP para las concentraciones en sedimentos o suelos. Los suelos contienen menos Mg que Ca debido a que el Mg no es tan absorbido como el Ca por los coloides del suelo y puede llegar a perderse más fácilmente por lixiviación (Chuchuca, 2014). Este elemento es esencial, incluso en grandes concentraciones en las células de las plantas, ya que es utilizado en reacciones enzimáticas y en la formación de ribosomas (Andrews & Siccama, 1995). Las concentraciones de Mn no rebasaron los criterios establecidos por la US EPA, los cuales establecen un límite de 300 mg kg<sup>-1</sup> para considerarlo como contaminado, en donde la media de peróxido más alta es de 138 mg kg<sup>-1</sup>.

Prego, Belzunce-Segarra, Helios-Rybicka y Barciela (1999) encontraron altas concentraciones en

sedimentos del río Ulla, España, con niveles de 2,110 mg kg<sup>-1</sup>, donde los puntos con mayores concentraciones se encontraron cercanos a fuentes industriales y descargas de aguas residuales con valores de 720 mg kg<sup>-1</sup>. Las concentraciones mínimas estuvieron en un rango de 122-174 mg kg<sup>-1</sup>. Estos investigadores realizaron una digestión ácida con una mezcla de HF y agua regia (HNO<sub>3</sub>-HCl). Otro estudio en Saco del Golfo de Cariaco, Venezuela, encontró concentraciones por debajo de 200 mg kg<sup>-1</sup> y la distribución de los metales fue relativamente uniforme. Las mayores concentraciones fueron en zonas con altos contenidos de limo, menor profundidad y donde los metales tienden a asociarse al grano fino (Lin et al., 2016; Sanguinetti, 2009).

Con respecto a las concentraciones de Ni, no rebasaron los criterios establecidos por la USEPA, que establecen un límite de 20 mg kg<sup>-1</sup> para considerarse contaminado y, además, no sobrepasaron las concentraciones de referencia totales establecidos en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que son de 1.600 mg kg<sup>-1</sup> para uso agrícola, residencial o comercial. En un estudio realizado por Fuentes Hernández (2001) en las lagunas de Chacopata (área rural) y de Los Patos (urbana) en Sucre, se encontró que la laguna de Los Patos presentó mayores concentraciones de Ni (13.66-38.05 µg g<sup>-1</sup>) que la Chacopata, que obtuvo niveles de 7.81-44.43 µg g<sup>-1</sup>.

Para la lectura de metales se utilizó una digestión con HNO<sub>3</sub> y en forma posterior se agregó H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, hasta obtener 25 ml de solución. En otro estudio, Martínez (2002) encontró concentraciones que oscilaron entre 2.01-49.87 mg kg<sup>-1</sup> en sedimentos del Golfo de Cariaco. Este autor atribuyó sus resultados a que los metales pesados pueden estar formando parte de la constitución de los minerales presentes en la zona y fueron transportados por las escorrentías en la época de lluvia y por los vientos que soplan en la región a lo largo de todo el año. Lin et al. (2016) especificaron que gran parte de los contaminantes presentes en sedimentos se deben a corrientes de aire que arrastran los metales pesados hacia diferentes cuerpos de agua.

Para el caso del Zn, Lin et al. (2016) mencionaron que la principal fuente en sedimentos proviene de la deposición atmosférica. En otro estudio, Zhang et al. (2016) encontraron valores en sedimentos del Lago Ponchartrain dentro del rango de 23.17-53.03 mg kg<sup>-1</sup>. En las guías de Calidad del Medio Ambiente

de Canadá, dentro de las directrices de calidad de sedimentos (ISQGs), se establece que los niveles probables de afectación biológicos para el Zn son de 123 mg kg<sup>-1</sup> en aguas dulces. Por tanto, basados en estas recomendaciones, los niveles en la laguna bajo estudio no representan algún riesgo biológico. Además, estos resultados no rebasaron los rangos establecidos por la US EPA, donde se considera a un ecosistema como moderadamente contaminado, cuando las concentraciones son superiores a 90 mg kg<sup>-1</sup>.

En un estudio realizado por Guzmán-Colis et al. (2011) en el río San Pedro en Aguascalientes, se encontró que la principal problemática de contaminación en los sedimentos fue por As, Cu y Zn, seguido de Pb y Cr, pero es importante destacar que 50% de los sitios se encontraron contaminados por Zn (>200 mg kg<sup>-1</sup>) e incluso dos sitios superaron los 800 mg kg<sup>-1</sup>, considerado por la PROFEPA como riesgo ecológico. Actualmente, no existe normatividad mexicana que establezca los LMP para las concentraciones de Zn en sedimentos o suelos. Banu et al. (2013) encontraron concentraciones en un rango de 94.60-190.10 mg kg<sup>-1</sup> en sedimentos en el río Turag en Bangladesh.

Con respecto al elemento Co, no existe normatividad mexicana e internacional que establezca los LMP en sedimentos o suelos. Palanques, Plana y Maldonado (1990) encontraron máximas concentraciones de 19.6 ppm de Co en la desembocadura del río Besos a una profundidad de 30 cm, donde los niveles naturales se encuentran en valores de 5-6 p.p.m., por lo que se considera que hubo impacto antropogénico que elevó los niveles en sus sedimentos. En otro estudio, Sarria-Sacasa y Lacayo-Membreño (1997) encontraron que la concentración máxima de Co fue de 26.59 mg kg<sup>-1</sup> en el lago Cocibolca, Nicaragua. La concentración máxima encontrada en los sedimentos del presente estudio fue de 2.64 mg kg<sup>-1</sup> para el peróxido y de 2.17 mg kg<sup>-1</sup> para el agua regia, por lo que los niveles de este metal pueden ser considerados como bajos.

Las concentraciones de Cu no rebasaron los criterios de la US EPA, que establecen un límite de 25 mg kg<sup>-1</sup> para considerarse como contaminado. En las guías de Calidad del Medio Ambiente de Canadá, dentro de las directrices de calidad de sedimentos (ISQGs), se establece que los niveles probables de afectación biológica son de 197 mg kg<sup>-1</sup> en aguas dulces y de 108 mg kg<sup>-1</sup> para aguas marinas, los cuales en el presente estudio no llegaron a esas concentraciones.

En un estudio realizado por Martínez (2002) en el Golfo de Cariaco, Venezuela, se encontraron concentraciones que estuvieron en un rango de 1.72-48.30  $\mu\text{g/g}$  en la Costa Norte, mientras que en el río Turag, Bangladesh, los investigadores Banu et al. (2013) notaron niveles en un rango de 46.30 a 60.00  $\text{mg kg}^{-1}$ , por lo que estos valores son superiores a los del presente estudio. El nivel del elemento Pb no rebasó los criterios establecidos por la US EPA, un límite de 90  $\text{mg kg}^{-1}$  para considerar un ecosistema como contaminado. Además, no sobrepasaron las concentraciones de referencia totales establecidas en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 de 1.60  $\text{mg kg}^{-1}$  para uso agrícola, residencial o comercial.

Márquez et al. (2008) encontraron concentraciones de Pb en la Laguna de Castilleros, Venezuela, de 17.02  $\text{mg kg}^{-1}$ , donde se apreciaron variaciones significativas en el sedimento. En otro estudio, Rubio Arias et al. (2006) encontraron niveles de 75.99  $\text{mg kg}^{-1}$  en sedimentos superficiales y, además, reportaron concentraciones de 33.49  $\text{mg kg}^{-1}$  en áreas agrícolas aledañas a este ecosistema acuático. Esta diferencia puede explicarse por la época de muestreo, ya que este cuerpo acuático puede llegar a secarse y debido a los fuertes vientos se presenta una fuerte movilización de metales. Mapanda, Mangwayana, Nyamangara y Giller (2005) notaron niveles de 59.0  $\text{mg kg}^{-1}$  de Pb en suelos superficiales (0-20 cm) irrigados con aguas residuales. En sedimentos del río Turag en Bangladesh, los investigadores Banu et al. (2013) encontraron valores de Pb en un rango de 28.30-36.40  $\text{mg kg}^{-1}$ , mayores a los niveles encontrados en los sedimentos de la laguna bajo estudio.

Para el elemento Sr no existe normatividad que establezca los LMP en sedimentos o suelos. En un estudio realizado por Salazar, Lizano y Alfaro (2004) se determinaron las concentraciones de metales en sedimentos de las zonas costeras de Costa Rica, donde los niveles de Sr variaron de 7 a 20  $\text{mg kg}^{-1}$ . Los niveles máximos encontrados en los sedimentos del cuerpo acuático bajo estudio fueron de 176.77  $\text{mg kg}^{-1}$  con el método de peróxido y de 151.91  $\text{mg kg}^{-1}$  para el de agua regia.

## CONCLUSIONES

Se concluye que los sedimentos de la Laguna de Bustillos no representan un riesgo potencial para el ecosistema (figura 5) en razón de que los niveles de

metales no rebasan los límites establecidos, tanto en la US EPA, como en la Guía de Calidad del Medio Ambiente de Canadá y en la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Las concentraciones no variaron significativamente en las dos profundidades y, en general, los niveles fueron bajos, por lo que se recomienda realizar estudios a mayor profundidad (figura 6) para evaluar si se ha presentado movilidad de metales y si ha habido interacción con la materia orgánica formando otros compuestos. Se recomienda realizar un estudio específico en condiciones de laboratorio mediante concentraciones conocidas en sedimentos, con el propósito de validar cuál método de digestión pondera más acertadamente la realidad.



Figura 5. Los sedimentos encontrados en la Laguna de Bustillos no representan un riesgo potencial para el ecosistema. Fotografía del equipo de investigación.



Figura 6. Se recomienda realizar estudios a mayor profundidad para evaluar si se ha presentado movilidad de metales y si ha habido interacción con la materia orgánica. Fotografía del equipo de investigación.

## REFERENCIAS

- Alemayehu, T. (2006). Heavy metal concentration in the urban environment of Addis Ababa, Ethiopia. *Soil & Sediment Contamination: An International Journal*, 15(6), 591-602. doi: 10.1080/15320380600959081
- Amado A., J. P., Ortiz, P., Solano, V., Orozco, F., & Ramírez, V. (1991). Calidad del agua y el suelo para uso agropecuario en la región aledaña a la Laguna de Bustillos, Chih. En J. L. Tovar & R. Quintero (Eds.), *La Investigación Edafológica en México 1990-1991. Memorias del XXIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo* (p. 225). Pachuca, Hidalgo, México.
- Andrews, J. A., & Siccama, T. G. (1995). Retranslocation of calcium and magnesium at the heartwood-sapwood boundary of Atlantic white cedar. *Ecology*, 76(2), 659-663. doi: 10.2307/1941225
- Anónimo. (2010). Lithium. Renal failure and nephrotic syndrome: Case report. *Reactions Weekly*, 1291(1), 32. doi: 10.2165/00128415-201012910-00097
- Banu, Z., Chowdhury, S. A., Hossain, D., & Nakagami, K. (2013). Contamination and ecological risk assessment of heavy metal in the sediment of Turag River, Bangladesh: An Index Analysis Approach. *Journal for Water Resource and Protection (JWARP)*, 5(2), 28446. doi: 10.4236/jwarp.2013.52024
- Canadian Council of Ministers of the Environment. (2002). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Total particulate matter. En *Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999* (Actualizado en 2002, 18 pp.). Winnipeg, MB: Autor.
- Castro Díaz, J., & Díaz Arias, M. L. (2004). *La contaminación por pilas y baterías en México*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado el 13 de octubre de 2014, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/438/cap5.html>
- Chen, M., Ding, S., Zhang, L., Li, Y., Sun, Q., & Zhang, C. (2017). An investigation of the effects of elevated phosphorus in water on the release of heavy metals in sediments at a high resolution. *The Science of the Total Environment*, 575, 330-337.
- Chuchuca, M. N. N. (2014). *Mapificación del grado de fertilidad de suelos, mediante los sistemas de información geográfica (SIG), del cantón las lajas provincia de el oro* (Tesis de licenciatura). Ecuador: Universidad Técnica De Machala.
- Comisión Nacional del Agua. (s. f.). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuauhtémoc (0805), estado de Chihuahua* [Compilación de documentos alusivos en pdf]. Recuperada el 22 de abril de 2017, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103566/DR\\_0805.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103566/DR_0805.pdf)
- Environment Canada. (1998). *Canadian sediment quality guidelines for chromium: Supporting document [Draft]*. Ottawa: Environmental Conservation Service, Ecosystem Science Directorate. Science Policy and Environmental Quality Branch, Guidelines and Standards Division.
- Fuentes Hernández, M. V. (2001). Estudio geoquímico de carbohidratos, hidrocarburos, aceites y grasas en la Laguna de Chapata, estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 40(2), 31-37.
- García, F. M., & Maza, J. A. (1998). Origen y propiedades de los sedimentos. En *Manual de Ingeniería de Ríos* (Cap. 7). México: UNAM.
- Guzmán-Colis, G., Ramírez-López, E. M., Thalasso, F., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A. L., & Avelar-González, F. J. (2011). Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del río San Pedro en el estado de Aguascalientes. *Universidad y Ciencia*, 27(1), 17-32. Recuperado el 20 de octubre de 2014, de <http://www.universidadyciencia.ujat.mx/index.php?ID=24&art=463>
- Hyland, J. L., Van Dolah, R. F., & Snoots, T. R. (1999). Predicting stress in benthic communities of southeastern U.S. estuaries in relation to chemical contamination of sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 18(11), 2557-2564.
- Lin, Q., Liu, E., Zhang, E., Li, K., & Shen, J. (2016). Spatial distribution, contamination and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of Erhai Lake, a large eutrophic plateau lake in southwest China. *Catena*, 145, 193-203.
- Mapanda, F., Mangwayana, E. N., Nyamangara, J., & Giller, K. E. (2005). The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107(2-3), 151-165.
- Márquez, A., Senior, W., Martínez, G., Castañeda, J., & González, A. (2008). Concentraciones de metales en sedimentos y tejidos musculares de algunos peces de la laguna de Castillejo, Venezuela. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 18(2), 121-133.
- Martínez, G. (2002). Metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 41(1-2), 83-86.
- Mohandas, E., & Rajmohan, V. (2007). Lithium use in special populations. *Indian Journal of Psychiatry*, 49(3), 211-218.
- Ochoa-Rivero, J. M., Reyes-Fierro, A. V., Peralta-Pérez, M. R., Zavala-Díaz, F. J., Ballinas-Casarubias, L., Salmerón, I.,...Rocha-Gutiérrez, B. A. (2017). Levels and distribution of pollutants in the waters of an aquatic ecosystem in Northern Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(5), 456. doi: 10.3390/ijerph14050456

- Páez, F. (1996). Fuentes de metales en la zona costera marina. En A. V. Botello, J. L. Rojas, J. A. Benítez, & D. Zárate (Eds.), *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico, y tendencias* (EPOMEX Serie científica 297-308). México: Universidad Autónoma de Campeche.
- Palanques, A., Plana, F., & Maldonado, A. (1990). Recent influence of man on the Ebro margin sedimentation system, northwestern Mediterranean Sea. *Marine Geology*, 95(3-4), 247-263.
- Prego, R., Belzunce-Segarra, M. J., Helios-Rybicka, E., & Barciola, M. C. (1999). Cadmium, manganese, nickel and lead contents in surface sediments of the lower Ulla River and its estuary (northwest Spain). *Boletín-Instituto Español de Oceanografía*, 15(1-4), 495-500.
- Rodríguez, S. V. (2013). *Niveles de contaminación por metales pesados en la especie Cyprinus carpio (carpa común) de la Laguna de Bustillos, México* (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Chihuahua, México.
- Rubio Arias, H. O., & Jiménez, J. A. (2012). *Estadística aplicada con análisis en Minitab* (169 pp.). México: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Rubio Arias, H. O., Saucedo, R., Bautista, M. R., Wood, K., Holguin, C., & Jiménez, J. (2006). Are crop and range land being contaminated with cadmium and lead in sediments transported by wind from an adjacent contaminated shallow lake? En *WIT Transactions on Ecology and the Environment: Vol. 89. Geo-Environment and Landscape Evolution II* (pp. 135-141). doi: 10.2495/GEO060141
- Rubio Arias, H. O., Saucedo, R., Lara, C. R., Wood, K., & Jiménez, J. (2005a). Water quality in the Laguna de Bustillos, Chihuahua, Mexico. En *WIT Transactions on Ecology and the Environment: Vol. 80. Water Resources Management III* (pp. 155-160). doi: 10.2495/WRM050161
- Rubio Arias, H. O., Saucedo, R., Wood, K., Nuñez, A., & Jiménez, J. (2005b). Metal contamination of a riparian area in the Conchos watershed of Chihuahua, Mexico. En *WIT Transactions on Ecology and the Environment: Vol. 80. Water Resources Management III* (pp. 269-275). doi: 10.2495/WRM050281
- Salazar, M. A., Lizano, O. G., & Alfaro, E. J. (2004). Composición de sedimentos en las zonas costeras de Costa Rica utilizando fluorescencia de rayos X (FRX). *Revista de Biología Tropical*, 52(supl. 2), 61-75.
- Sanguinetti, G. O. A. (2009). *Evaluación de los métodos propuestos por Campanella y BCR utilizados para la extracción secuencial de metales pesados en sedimentos y posibles efectos tóxicos de estos sedimentos* (Tesis). Universidad de Oriente-Núcleo de Sucre, Venezuela.
- Sarria-Sacasa, K., & Lacayo-Membreño, J. (1997). *Determinación de metales pesados en sedimento del lago Cocibolca, Nicaragua* [pdf]. Recuperado el 2 de noviembre de 2014, de [http://www.bvsde.org.ni/Web\\_textos/CIRA/Cira0005/15.pdf](http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/CIRA/Cira0005/15.pdf)
- Schuck, R., Gevalt, D., Mullen, J., Menzie, C., & Fogarty, K. (2004). Risk-based remediation of lead and chromium impacted sediments in Lake Waban, Wellesley, MA: A case study. *Soil & Sediment Contamination*. Recuperado el 2 de noviembre de 2014, de <http://www.highbeam.com/doc/1P3-618978941.html>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2007). NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. *Diario Oficial de la Federación*, 2 de marzo de 2007.
- Sprovieri, M., Feo, M., Prevedello, L., Manta, D. S., Sammartino, S., Tamburrino, S., & Marsella, E. (2007). Heavy metals, polycyclic aromatic of the Naples harbour (southern Italy). *Chemosphere*, 67(5), 998-1009.
- White, W. J., Morris, L. A., Warnell, D. B., Pinho, A. P., Jackson, C. R., & West, L. T. (2007). Sediment retention by forested filter strips in the Piedmont of Georgia (Report). *Journal of Soil and Water Conservation*, 62(6), 453-463. Recuperado el 5 de noviembre de 2014, de <http://www.highbeam.com/doc/1G1-172427311.html>
- Zhang, Z., Wang, J. J., Ali, A., & DeLaune, R. D. (2016). Heavy metals and metalloid contamination in Louisiana Lake Pontchartrain Estuary along I-10 Bridge. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 44, 66-77.



## Modelado mediante redes de colas abiertas con realimentación de la sala de urgencias de un hospital público

### Modeling a public hospital's emergency department with feedback open queue networks

Gonzalo Everardo Aceves Gómez\*, Ricardo Armando González Silva\*\*✉, Héctor Alfonso Juárez López\*\*, Rodolfo Rafael Medina Ramírez\*\*\*, José Antonio Vázquez Ibarra\*\*\*\*

Aceves Gómez, G. E., González Silva, R. A., Juárez López, H. A., Medina Ramírez, R. R., & Vázquez Ibarra, J. A. Modelado mediante redes de colas abiertas con realimentación de la sala de urgencias de un hospital público. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 48-57.

#### RESUMEN

Este trabajo propone un modelo de red de colas abiertas con realimentación, de la sala de urgencias, para entender su comportamiento y tomar decisiones estratégicas. Se establece una matriz de ruta de probabilidades en la red de colas para determinar de manera general las variantes de comportamiento de este modelo, generando así un rango de escenarios con diferentes patrones de comportamiento; con los resultados numéricos, se analizan los indicadores de eficiencia de la Teoría de Colas de las tres locaciones: consultorios, laboratorios y observación-yesos-suturas, las cuales se modelan con  $M/M/s$ ,  $M/G/1$  y  $M/M/1$ , respectivamente. Los resultados del análisis numérico

**Palabras clave:** modelo de colas; sala de urgencias; matriz de ruta de probabilidades; indicadores de eficiencia.

**Keywords:** queueing model; emergency room; probability route matrix; efficiency indicators.

Recibido: 9 de junio de 2017, aceptado: 15 de enero de 2018

\* Maestría en Ciencia y Tecnología, Universidad de Guadalajara-Centro Universitario de los Lagos. Av. Enrique Díaz de León #1144, Paseos de La Montaña, C. P. 47460, Lagos de Moreno, Jalisco, México. Correo electrónico: gonzalo.aceves@academicos.udg.mx

\*\* Departamento de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad de Guadalajara-Centro Universitario de los Lagos. Av. Enrique Díaz de León #1144, Paseos de La Montaña, C. P. 47460, Lagos de Moreno, Jalisco, México. Correo electrónico: rgonzalez@culagos.udg.mx; hjuarez@culagos.udg.mx

\*\*\* Departamento de Posgrado e Investigación, Universidad Politécnica de Aguascalientes. Calle Paseo San Gerardo No. 207, Fracc. San Gerardo, C. P. 20342, Aguascalientes, Aguascalientes, México. Correo electrónico: rmedinamx@gmail.com

\*\*\*\* Programa Académico de Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Aguascalientes. Calle Paseo San Gerardo No. 207, Fracc. San Gerardo, C. P. 20342, Aguascalientes, Aguascalientes, México. Correo electrónico: antonio.vazquez@upa.edu.mx

✉ Autor para correspondencia

muestran la sensibilidad del comportamiento de la sala de urgencias con base en los valores de la matriz de ruta de probabilidades y en cuáles valores funciona óptimamente.

#### ABSTRACT

This work proposes a model of open queue network with feedback, from the emergency department, to understand their behavior and make strategic decisions. In the queueing network, a probability route matrix is established to determine the general behavior variants of this model. It generates a range of scenarios with different behavior patterns; with the numerical results, we analyze the efficiency indicators of Queueing Theory on the three locations: clinics, laboratories, and observation-gypsum-sutures, which are modeled as  $M/M/s$ ,  $M/G/1$  and  $M/M/1$ , respectively. The numerical results show the sensibility of the emergency department behavior and the optimally performance, using the probability route matrix values.

#### INTRODUCCIÓN

El flujo de pacientes es uno de los problemas más importantes a estudiar con el objetivo de mejorar la eficiencia en los servicios de atención de la salud. De acuerdo con la investigación de operaciones (IO), consiste en la circulación de los pacientes a través de un conjunto de estaciones en un centro de atención médica (Hillier & Lieberman, 2001). Desde una perspectiva clínica, representa la progresión del estado de salud de un paciente. La comprensión del flujo de pacientes proporciona valiosa información a los médicos, a los administradores y a los mismos pacientes acerca de las necesidades de cuidado

de la salud asociados con la progresión de la enfermedad o el estado de recuperación. El estudio del flujo de pacientes desde la IO sirve para apoyar las actividades operativas de un centro de atención, con la asignación eficaz de recursos y planificación de capacidad (Côté, 2000).

Se han identificado diversos factores que impactan en el aumento de los tiempos de espera de la sala de urgencias (SU) de un hospital, como el aumento de la población o las necesidades de salud debidas a las condiciones ambientales (Derlet, Richards, & Kravitz, 2008). Un hospital debe tratar a sus pacientes de manera oportuna, especialmente a aquellos con necesidad de cuidados críticos, lo cual es muy complicado en la práctica, sobre todo en las instituciones públicas de salud, debido a la alta demanda y a los recursos limitados.

En la presente investigación se estudia el comportamiento del flujo de pacientes de la SU de un hospital mediante una red de colas (RC). La sección 2 es el estado del arte de las RC en la SU. La sección 3 plantea los elementos de la SU, además de las relaciones fundamentales de las variables y parámetros determinados por la teoría de colas (TC). La sección 4 mide los indicadores de eficiencia del sistema de colas (SC). En la sección 5 se determinan los rangos de valores de diversos parámetros para dar paso al análisis de indicadores de eficiencia del sistema. Finalmente, se plantean las conclusiones de la investigación.

#### **Antecedentes de modelos de redes de colas de la SU**

En las investigaciones relacionadas con la modelación de la SU de hospitales mediante TC, algunas se enfocan en el flujo de pacientes, otras en el óptimo de personal o el número de camas, en los horarios, en los tipos de afección de los pacientes, etc., pero los modelos de RC son mucho menos comunes y la mayoría de ellos limitados.

Mayhew y Smith (2008) ilustran cómo el flujo de pacientes de un departamento de Emergencias (DE) puede representarse como un proceso de colas y cómo los resultados de este modelo pueden usarse para visualizar e interpretar el objetivo gubernamental de completar y descargar 98% de los pacientes dentro de 4 horas de una manera simple. Filipowicz y Kwiecień (2008) describen los SC y de RC que se utilizan con éxito para analizar el rendimiento de diferentes sistemas, que incorporan procesos de Markov con tiempos de servicio exponenciales y

un proceso de llegada de Poisson y SC con servicio individual. Presentan una aplicación de redes cerradas de BCMP en el área de salud y la evaluación del desempeño del sistema de información.

Cochran y Roche (2009) proponen un modelo de RC abiertas destinado a aumentar la capacidad de un DE para tratar a los pacientes. Se incorporan patrones de llegada no homogéneos, distribuciones de tiempo de servicio no exponenciales y múltiples tipos de pacientes. Usan los modelos  $M/M/s$  y  $M/G/s/s$ . Jiang y Giachetti (2008) amplían y mejoran el modelo de RC abiertas para analizar el tiempo del ciclo del paciente, de modo que se pueda modelar el flujo del paciente en un centro de atención de urgencias. Hacen contribuciones implementando una aproximación para colas fork/join en la red y mejorando la aproximación para múltiples servidores colas, tanto en tráfico bajo como en condiciones de mucho tráfico.

Olorunsola, Adeleke y Ogunlade (2014) analizaron el número óptimo de camas requeridas en el hospital, lo cual se puede lograr con un conocimiento adecuado del flujo del paciente para mejorar el nivel de ingreso a la atención. En esta investigación se utilizaron técnicas analíticas y simulación para estudiar una RC simple compuesta de solamente dos estaciones de servicio colocadas en tándem; se estudiaron todas las admisiones al Departamento de Emergencia y Accidentes (DAE). Usan los modelos de cola  $M/M/s$ . Véricourt y Jennings (2011) presentan un modelo de RC cerrada  $M/M/s/n$  para determinar políticas eficientes de personal de enfermería. Modelan la carga de trabajo de las enfermeras dentro de una sola unidad médica con  $n$  pacientes homogéneos.

Izady y Worthington (2012) proponen un esquema iterativo que utiliza redes con servidores infinitos, la ley de personal de raíz cuadrada y simulación para encontrar una buena solución a la planeación de horarios de trabajo y servicio eficiente, sin aumentar la carga horaria. La implementación de este algoritmo en un departamento típico de A & E sugiere que se puede obtener una mejora significativa en el objetivo, incluso sin un aumento en el total de horas de personal. Au-Yeung, Harrison y Knottenbelt (2006) desarrollan un modelo multiclase de RC markoviana de flujo de pacientes en el DAE de un importante hospital de Londres y mediante simulación de eventos discretos, proponen opciones para que la priorización por afección se optimice.

Jlassi, Mhamedi y Chabchoub (2009) desarrollaron una RC con múltiples tipos de clientes. Se usan diferentes indicadores de rendimiento e ilustran RC multiclase con el objetivo de mejorar el rendimiento de la SU del hospital Habib Bourguiba, en Sfax, Túnez. Zhu, Gong y Tang (2013) establecen un modelo general de RC de múltiples etapas con flujo de pacientes con realimentación para analizar el comportamiento del flujo de pacientes entre las etapas y el desempeño de los DE en un hospital.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### La sala de urgencias del hospital público CHMH

Los sistemas de salud pública de México tienen como objetivo alcanzar una cobertura universal, todos y cada uno de los mexicanos debe tener acceso a los servicios de salud. En 2008 la población en México era de 106.6 millones de habitantes, de los cuales el número de personas que recibía atención médica del Seguro Popular era de 27,176 millones; es decir, aproximadamente 25.5% de la población (Gómez Dantés et al., 2011). Esto, en conjunto con la crisis económica, ha provocado que el tiempo de espera esté aumentando. Sin inversiones adicionales en instalaciones ni personal, aumentando las filas y el tiempo de espera, hay insatisfacción entre los pacientes, los familiares e incluso el personal del sistema de salud. Las SU son el principal punto de acceso a los hospitales, saturadas por aquellos que están cansados de esperar una cita (Vázquez I., González S., & Juárez L., 2014).

La SU está compuesta por las siguientes locaciones: registro (R), área de consultorios (C), área de choque, laboratorios (L), observación-yesos-suturas (OYS), y nueve camas. Un paciente entra a la SU de dos formas: por área de choque (llegadas por ambulancia) o por sus medios. En esta investigación solamente se considera este segundo caso. Cuando un paciente entra a la SU, debe pasar a R, para luego esperar en la fila hasta que llegue su turno de pasar a C, posteriormente es enviado a L y de vuelta a C, donde según el diagnóstico final puede pasar a OYS o salir del sistema.

La SU está dividida en tres fases y cuatro estaciones, de las cuales la segunda es de suma importancia por la complejidad de su comportamiento (nótese que la segunda fase es un sistema, con la

particularidad de que los pacientes que son atendidos después de que van a L pasan con prioridad).

### Modelo de red de colas de la sala de urgencias

Descripción y supuestos del modelo. El diagrama de flujo de pacientes de la SU representado como una RC abierta y la simbología gráfica de esta disciplina se muestra en la figura 1, en donde se observa que se agrupan varias de las locaciones: en el caso de yesos y suturas en una locación con observación. La alta está representada por una S y todo lo que representa las áreas periféricas (unidad de cuidados, tercer nivel, piso y quirófano) son la letra E.

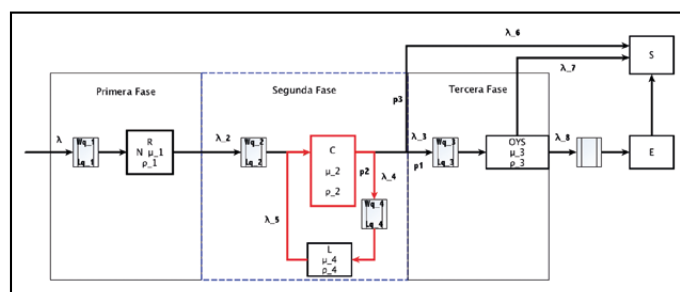


Figura 1. Diagrama de red de colas de la SU. Elaboración propia.

Un paciente puede pasar a la tercer fase con probabilidad  $p_1$ , a L con probabilidad  $p_2$  o directamente a S con probabilidad  $p_3$ . Los pacientes que entran a L regresan a C, pueden pasar a la tercer fase con probabilidad  $p_4$  o a S con probabilidad  $p_5$ . Se tiene que

$$p_1 + p_2 + p_3 = 1 \text{ y } p_4 + p_5 = 1. \quad (1)$$

Los valores de la ruta de probabilidades de los pacientes  $p_1$ ,  $p_2$  y  $p_3$  se describen en la tabla 2 (de resultados). La tasa de arribo de pacientes que entra al sistema por unidad de tiempo,  $\lambda$  representa el número promedio de pacientes que entra a la locación  $i$  por unidad de tiempo; así, la tasa de pacientes de entrada a los laboratorios es  $\lambda_4$  y su tasa de salida es  $\lambda_5$  (mismos que retornan a la estación 2). Un porcentaje  $p_2$  de los pacientes que pasan por la estación C pasa a la estación L, así que  $\lambda_4 = p_2 \lambda_2$ , y otro porcentaje  $p_3$  pasa a la estación S, así que  $\lambda_6 = p_3 \lambda_2$ .

La siguiente lista de notación y terminología de los indicadores de redes de colas es de Krieger (2008).

---

$\lambda$	Tasa media de llegadas.
$1/\lambda$	Tiempo medio entre llegadas
$\mu$	Tasa media de servicio.
$1/\mu$	Tiempo medio de servicio.
$L$	Número esperado de clientes en el sistema.
$L_q$	Número esperado de clientes en la cola <i>q-esima</i> .
$W$	Tiempo total de espera en el sistema
$W_q$	Tiempo promedio de espera en la cola <i>q-esima</i> .
$\pi_n$	Probabilidad de que el sistema esté ocupado (en estado estacionario)
$\pi_0$	Probabilidad de que el sistema esté vacío (en estado estacionario)
$N_i$	Número de servidores en la estación $i, i=1,2,\dots,s$
$\rho_i = \lambda_i / \mu_i$	Intensidad media de servicio en el servidor $i, i=1,2,\dots,s$
$\omega_i$	Intensidad media de servicio en la estación $i, i=1,2,\dots,s$
$\sigma^2$ o $var(S)$	Varianza de servicio solo para <i>M/G/1</i>

---

Por la naturaleza de las ecuaciones que se usarán de la TC en la RC del sistema que se propone se supondrá que hay una capacidad infinita en la cola de cada una de las estaciones, el sistema se encuentra en estado estacionario (patrón de llegadas al sistema que no cambian con el tiempo), además se considerará que el sistema está en estado estable (esto es  $\rho_i < 1$  para toda  $i$ ) (Gross & Harris, 1998, pp. 9, 33), así como que la red es un SC multiestado, en donde las fases 1 y 3 son SC tipo *M/M/1*. La fase dos es una RC con realimentación, en la cual el proceso de servicio en C es un modelo tipo *M/M/s* y el proceso de servicio en L es un modelo tipo *M/G/1*. En L se considera que tiene un tiempo de servicio con función de distribución general y media  $1/\mu_4$ , ya que gran parte del trabajo lo hace una máquina o equipo de laboratorio.

El patrón de llegada de los pacientes al sistema satisface una distribución de Poisson con parámetro  $\lambda$  (Vázquez Í. et al., 2014). Ya que el tiempo de recepción o registro de cada paciente es muy corto, se supondrá que  $\lambda_1 = \lambda$ . La tasa de llegada de pacientes es  $\lambda_4$  y la tasa de salida es  $\lambda_5$ . Como el sistema se encuentra en estado estable,  $\lambda_4 = \lambda_5$ . Los pacientes son atendidos secuencialmente de acuerdo con la regla de Primeras Entradas, Primeras Salidas (*PEPS*) antes de salir del sistema.

**Ecuaciones del modelo.** Si se tiene en cuenta la RC de la figura 1, la ecuación  $p_1 + p_2 + p_3 = 1$  y las consideraciones anteriores, se tienen las siguientes relaciones entre las tasas de llegadas de pacientes

de las estaciones del sistema:

$$\lambda = \lambda_1, \tag{2}$$

$$\lambda_3 = \lambda(1 - p_2 - p_3) = p_1 \lambda, \tag{3}$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \lambda_5 = \lambda + \lambda_4, \tag{4}$$

$$\lambda_4 = p_2 \lambda_2. \tag{5}$$

Con apego a la notación de Gross y Harris (1998), las ecuaciones que estructuran el modelo *M/M/1* son:

$$\pi_0 = (1 - \rho) \quad (\rho = \lambda / \mu < 1), \tag{6}$$

$$\pi_n = (1 - \rho) \rho^n \quad (\rho = \lambda / \mu < 1), \tag{7}$$

$$L = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}, \tag{8}$$

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{\rho}{\lambda(1 - \rho)} = \frac{1}{\mu - \lambda}, \tag{9}$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)} = \frac{\rho}{(\mu - \lambda)}, \tag{10}$$

$$L_q = \frac{\rho^2}{(1 - \rho)} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}. \tag{11}$$

Para el caso del sistema de los consultorios, modelo  $M/M/1$ , se tiene que  $s$  es el número de consultorios, sus ecuaciones son:

$$\pi_0 = \left[ \sum_{n=0}^{s-1} \frac{\omega^n}{n!} + \frac{\omega^s}{s!(1-\rho)} \right]^{-1}, \quad (12)$$

donde  $\omega = \frac{\lambda}{\mu}$  y  $\rho = \frac{\omega}{s} = \frac{\lambda}{s\mu}$ .

Además, se tiene

$$L = \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\rho\omega^s}{s!(1-\rho)^2} \pi_0, \quad (13)$$

$$L_q = \frac{\omega^s \rho}{s!(1-\rho)^2} \pi_0 = L - \frac{\lambda}{\mu}, \quad (14)$$

$$W = \frac{1}{\mu} + \frac{\omega^s \rho}{s!(1-\rho)^2 \lambda} \pi_0, \quad (15)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho\omega^s}{s!(1-\rho)^2 \lambda} \pi_0 = W - \frac{1}{\mu}. \quad (16)$$

El comportamiento del sistema  $M/G/1$  se determina por las ecuaciones de Pollaczek y Khinchine. Si se usa la notación de Gross y Harris (1998):

$$L = \frac{\rho^2 + \lambda^2 \text{var}(S)}{2(1-\rho)} + \rho, \quad (17)$$

$$W = \frac{\frac{\rho^2}{\lambda} + \lambda \text{var}(S)}{2(1-\rho)} + \frac{1}{\mu}, \quad (18)$$

$$W_q = \frac{\frac{\rho^2}{\lambda} + \lambda \text{var}(S)}{2(1-\rho)}, \quad (19)$$

$$L_q = \frac{\rho^2 + \lambda^2 \text{var}(S)}{2(1-\rho)}. \quad (20)$$

Un conjunto de estaciones interconectadas de SC en el que cualquier usuario al salir de una estación puede unirse a otra, o debe dejar el sistema total, se denomina RC. Las probabilidades de enrutamiento  $p_{ij}$  denotan la probabilidad que tiene un usuario de viajar desde la estación  $i$  a la estación  $j$ . Los tiempos de viaje, en general, se supone que son cero. La matriz generada por estas probabilidades,  $P=(p_{ij})$ , es llamada matriz de ruta de probabilidad de la red.

Las probabilidades de enrutamiento pueden ser dependientes del estado, en donde un estado de la red se define por el vector  $n=(n_1, \dots, n_M)$ , donde  $n_i$  es el número de clientes en las estaciones  $i=1, \dots, M$ . En nuestro caso, la matriz de ruta de probabilidades es:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} & p_{16} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} & p_{25} & p_{26} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} & p_{35} & p_{36} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} & p_{45} & p_{46} \\ p_{51} & p_{52} & p_{53} & p_{54} & p_{55} & p_{56} \\ p_{61} & p_{62} & p_{63} & p_{64} & p_{65} & p_{66} \end{bmatrix}$$

En la figura 1 se observa que varias de las entradas de la matriz  $P$  son cero. Como solo importa analizar lo que pasa de las fases 1 a la 3 no se considerarán los valores de la ruta de la estación 3 a S o E, ni las salidas a la estación 5 (que es E), por lo cual solo se considerarán los valores de:  $p_{23} = p_1$ ,  $p_{24} = p_2$  y  $p_{25} = p_3$ .

## RESULTADOS

### Estimación de parámetros de la SU

El análisis del comportamiento de la SU requiere determinar los valores de los parámetros del modelo, la tasa de llegada  $\lambda$ , las probabilidades de enrutamiento  $p_{ij}$ , las tasas de servicio  $\mu_i$  y el número de servidores  $N_i$ . Los primeros fueron estimados a partir de estadísticos del hospital y los valores de  $N_i$  son parte de la información básica del sistema administrativo de la SU.

Los datos para el análisis de la demanda de pacientes en la SU fueron recabados a través de un muestreo en los libros de registro desde junio de 2009 hasta abril de 2012 (1,021 días) con un nivel de confianza de 99%. Para determinar la tasa de llegada de los pacientes se realizaron las pruebas estadísticas de bondad de ajuste no paramétricas (*Chi-cuadrada CC*); por la inconsistencia en la información y los registros incompletos, a la prueba *CC* se le aplicó la corrección de Yates para clases con frecuencia esperada menor a 5, agrupando por día (Vázquez I. et al., 2014). Con estos datos se obtuvo que la demanda se ajusta a una distribución Poisson con  $\lambda=106.713$ , con lo cual el tiempo entre llegadas tiene una función de distribución exponencial con  $\frac{1}{\lambda} = 13.494 \text{ min} = 4.446$  usuarios por hora. La tabla 1 muestra los parámetros del sistema.

Tabla 1  
Parámetros del sistema. Muestra los valores de las capacidades y características propias del sistema, así como el valor de la tasa de arribo general.

Parámetro	Valor
$N_1$	1
$N_2$	3
$N_3$	1
$N_4$	10
$\lambda$	4.446
$\mu_1$	12
$\mu_2$	2.4
$\mu_3$	2
$\mu_4$	2.2

Nota: Elaboración propia.

Los valores de  $var(S)$  fueron calculados tomando los promedios de pacientes atendidos por hora en los laboratorios de química sanguínea, examen general de orina y radiología; los que fueron 2.4, 3.0 y 4.9, respectivamente.

### Análisis numérico

De la ecuación  $p_1+p_2+p_3=1$  se desprende que los valores de  $p_1$ ,  $p_2$  y  $p_3$  pueden variar entre 0 y 1. Sin embargo, para que el sistema se encuentre estable es necesario que  $\rho_3 = \lambda_3/\mu_3 < \alpha$  con  $\alpha$  un número menor que 1. Por la naturaleza del sistema se supondrá que su valor máximo es de 0.8. Si se considera este valor para  $\alpha$ , se toma en cuenta que  $\lambda_3=p_1 \lambda_2=p_1 (4.446)$  y que  $\mu_3=2$ , se obtiene que  $p_1=0.359$ . Además, se agrega la condición de que el valor de  $p_1$  no excederá 0.3, si se supone que máximo 30% de los pacientes pasan la locación 3. Por otro lado, si bien las condiciones de estabilidad indican que el valor de  $p_2$  es menor a 0.4, en las simulaciones se consideró que  $p_2$  puede variar entre 0.5 y 0.25, derivado de suponer que al menos 25% de los casos de urgencias requiere de estudios de laboratorio, pero no más de 50%.

Los resultados de las simulaciones realizadas variando los valores de  $p_1$ ,  $p_2$  y  $p_3$  en pasos de 0.05 se muestran en la tabla 2. Los tonos en gris corresponden a los valores de  $p_2$ .

Tabla 2  
Medidas de rendimiento del sistema

$p_1$	$p_2$	$p_3$	$I_2$	$L_2$	$W_2$	$L_{q2}$	$W_{q2}$	$I_3$	$L_3$	$W_3$	$L_{q3}$	$W_{q3}$	$I_4$	$L_4$	$W_4$	$L_{q4}$	$W_{q4}$
0.30	0.25	0.45	5.56	8.18	1.47	5.86	1.05	1.67	5.01	3.01	4.18	2.51	1.11	0.99	0.89	0.49	0.44
0.25	0.25	0.50	5.56	8.18	1.47	5.86	1.05	1.39	2.28	1.64	1.58	1.14	1.11	0.99	0.89	0.49	0.44
0.20	0.25	0.55	5.56	8.18	1.47	5.86	1.05	1.11	1.25	1.13	0.70	0.63	1.11	0.99	0.89	0.49	0.44
0.15	0.25	0.60	5.56	8.18	1.47	5.86	1.05	0.83	0.71	0.86	0.30	0.36	1.11	0.99	0.89	0.49	0.44
0.10	0.25	0.65	5.56	8.18	1.47	5.86	1.05	0.56	0.38	0.69	0.11	0.19	1.11	0.99	0.89	0.49	0.44
0.25	0.30	0.45	5.78	10.85	1.88	8.44	1.46	1.45	2.60	1.80	1.88	1.30	1.33	1.49	1.12	0.88	0.66
0.20	0.30	0.50	5.78	10.85	1.88	8.44	1.46	1.16	1.37	1.18	0.79	0.68	1.33	1.49	1.12	0.88	0.66
0.15	0.30	0.55	5.78	10.85	1.88	8.44	1.46	0.87	0.77	0.88	0.33	0.38	1.33	1.49	1.12	0.88	0.66
0.10	0.30	0.60	5.78	10.85	1.88	8.44	1.46	0.58	0.41	0.70	0.12	0.20	1.33	1.49	1.12	0.88	0.66
0.05	0.30	0.65	5.78	10.85	1.88	8.44	1.46	0.29	0.17	0.58	0.02	0.08	1.33	1.49	1.12	0.88	0.66
0.20	0.35	0.45	6.00	15.19	2.53	12.69	2.11	1.20	1.50	1.25	0.90	0.75	1.56	2.32	1.49	1.61	1.04
0.15	0.35	0.50	6.00	15.19	2.53	12.69	2.11	0.90	0.82	0.91	0.37	0.41	1.56	2.32	1.49	1.61	1.04
0.10	0.35	0.55	6.00	15.19	2.53	12.69	2.11	0.60	0.43	0.71	0.13	0.21	1.56	2.32	1.49	1.61	1.04
0.05	0.35	0.60	6.00	15.19	2.53	12.69	2.11	0.30	0.18	0.59	0.03	0.09	1.56	2.32	1.49	1.61	1.04
0.15	0.40	0.45	6.22	23.02	3.70	20.43	3.28	0.93	0.88	0.94	0.41	0.44	1.78	4.03	2.26	3.22	1.81
0.10	0.40	0.50	6.22	23.02	3.70	20.43	3.28	0.62	0.45	0.73	0.14	0.23	1.78	4.03	2.26	3.22	1.81
0.05	0.40	0.55	6.22	23.02	3.70	20.43	3.28	0.31	0.18	0.59	0.03	0.09	1.78	4.03	2.26	3.22	1.81
0.10	0.45	0.45	6.45	39.36	6.11	36.68	5.69	0.64	0.48	0.74	0.15	0.24	2.00	9.53	4.76	8.62	4.31
0.05	0.45	0.50	6.45	39.36	6.11	36.68	5.69	0.32	0.19	0.60	0.03	0.10	2.00	9.53	4.76	8.62	4.31

Nota: Elaboración propia.

La tabla muestra que las variables  $W$ 's y  $L$ 's de las estaciones 2 y 4 dependen directamente del valor de  $p_2$ . Para  $p_2 > 0.35$ , y aun cuando  $\lambda = \lambda_1 = 4.446$  (lo cual es considerado un valor no muy alto), los laboratorios L tienen dificultades para atender el flujo

de pacientes que requieren sus servicios (valores de  $W_4 > 1.49$  h). Cuando  $p_2 > 0.40$  el servicio en L se vuelve totalmente ineficiente (tiempo promedio total de más de 2 h y tiempo promedio de atención  $1/\mu_4 = 0.45$  h = 27 min).

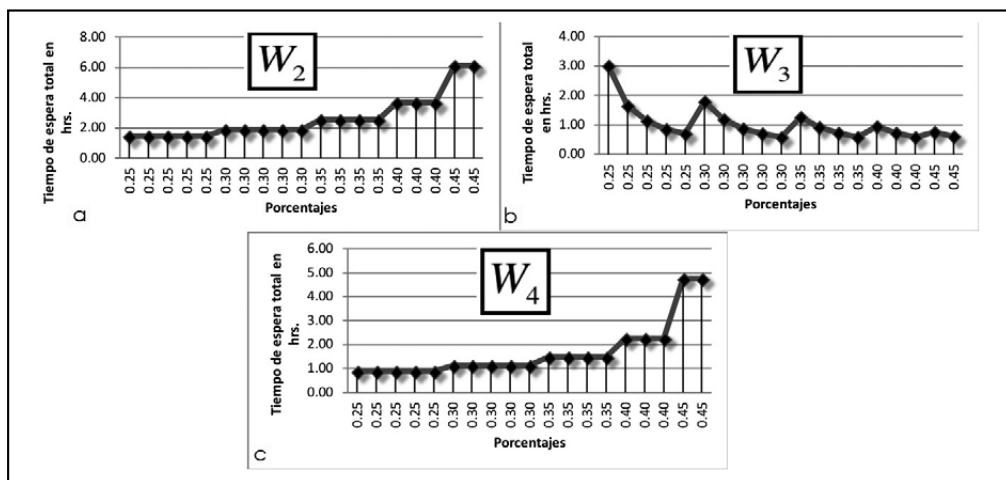


Figura 2. Las gráficas (a), (b) y (c) representan los tiempos de espera (TE) totales de (C), (OYS) y (L), respectivamente. El gráfico (a) muestra que al aumentar  $p_2$  se incrementa el TE en C. En (b), OYS el TE disminuye considerablemente cuando aumenta  $p_2$ . Sin embargo, (c) muestra que al aumentar  $p_2$ , provoca sobresaturación del TE en L. Elaboración propia.

La estación 2 presenta problemas de capacidad aun cuando los valores de  $p_2$  son bajos, ya que  $W_2$  siempre es elevado (tiempo promedio de al menos 88 min), si bien puede decirse que en el rango  $p_1 \leq 0.20$  y  $p_2 \leq 0.30$  el sistema está en situación aceptable de funcionalidad, ya que en otros rangos los tiempos de espera promedios son excesivos.

Del análisis anterior se desprende que tanto C como L (correspondientes a la segunda fase) son los que determinan la funcionalidad del sistema con base en  $p_2$ . La tabla 2 muestra los indicadores de eficiencia del sistema para cada variante de los valores posibles ( $p_1, p_2, p_3$ ), los cuales pueden ser interpretados de acuerdo con la figura 1. Por ejemplo, para el caso  $(p_1, p_2, p_3) = (0.10, 0.25, 0.65)$ , que se encuentra dentro del rango de valores de funcionalidad aceptable, se tiene que, en promedio, hay 2.32 pacientes recibiendo atención o en servicio de consulta ( $L_2 - Lq_2$ ), cada uno tarda 25.2 min en atención (de acuerdo con  $\mu_2$ ), en promedio hay seis pacientes aguardando ser atendidos un tiempo promedio de 63 min ( $Wq_2$ ). Además, en promedio hay un paciente cada 4 h recibiendo atención en OYS, y cada uno tarda 30 min (esto porque se considera la capacidad del sistema  $\mu_3 = 2$  y no el tiempo real de

la afección). Análogamente, en promedio, hay un paciente cada 2 h recibiendo atención, con tiempo promedio de 27 min, y un paciente esperando cada 2 h para ser atendido en L.

La figura 2 muestra la relación entre  $p_2$  y el tiempo de espera en las estaciones 2, 3 y 4. El gráfico (a) muestra que al aumentar  $p_2$  (es decir, al incrementar la demanda de atención en C por la realimentación) se incrementa el tiempo de espera en 2. Por otro lado, los incrementos en  $p_2$  generan efectos de decrecimiento en la estación 3 (b). Finalmente, en la estación 4 se provoca sobresaturación del sistema, lo que genera tiempo excesivo para las operaciones (c).

## DISCUSIÓN

El presente trabajo propone un modelo de RC abierta con realimentación simplificado, el cual difiere de los usados en las referencias citadas — en las cuales no toman en cuenta los escenarios posibles, las  $p$ 's están fijas— en la variación de los valores de la matriz de ruta de probabilidades. Los resultados de las simulaciones de la tabla fueron calculados con ecuaciones analíticas en Excel.



Figura 3. La imagen superior izquierda corresponde a la entrada a la SU, la que sigue a la derecha es la recepción. El área de espera se encuentra abajo a la izquierda y, finalmente, la imagen abajo a la derecha son los consultorios.

Fotografía del equipo de investigación.

Los resultados del análisis numérico muestran la utilización de la capacidad del sistema en un rango de escenarios.

El número esperado de pacientes en el sistema de colas de consultorios varía de ocho a 43 pacientes, en el área de laboratorios de uno a 10 pacientes; el tiempo medio de espera en la cola de consultorios va de 1 a 6 h y en laboratorios de 0.5 a 4.5 h. Esto demuestra que la longitud de las colas y los tiempos de espera son demasiado grandes, lo cual redundará en insatisfacción de los pacientes y mayor carga de trabajo para los empleados.

Con base en los resultados del modelo de la SU, durante ciertas horas se presenta congestión, si bien la tabla 2 con los parámetros de rendimiento de TC para diferentes ternas no refleja en qué momentos ocurre; debido a que el modelo no considera temporalidad, cada una de las ternas representa un escenario en el cual se encuentra el sistema en un periodo del día, semana, mes o año. Esta investigación complementa en cierto sentido la investigación de Cochran y Roche (2009), ya que en el presente estudio se determinaron rangos de valores (ternas) de la matriz de ruta de probabilidades, ya que intuitivamente la proporción de flujo de pacientes en las diversas locaciones no es algo estático.

Salvo la investigación de Zhu et al. (2013), en ninguna de las investigaciones presentadas en las referencias se considera la realimentación; aunque se presentan modelos de red de colas con tasas de llegada no homogéneas, diversos tipos de pacientes, capacidad de recursos (camas o enfermeras), sistemas con bloqueo, tiempos de ciclo de paciente o modelos jerárquicos. Parte de la investigación de Au-Yeung et al. (2006) es similar a la del presente trabajo, pues muestra una RC del departamento A&E, pero se enfoca en analizar y simular (mediante eventos discretos) combinaciones de priorización de varios tipos de pacientes para que no se afecte el tiempo de respuesta de arribos por ambulancia.

Los resultados de Jlassi et al. (2009) tienen similitud con el análisis de tiempos de espera en las estaciones; aunque como ellos tienen múltiples clases de pacientes, sus resultados muestran de manera más detallada el tipo de paciente y la locación. La investigación de Izady y Worthington (2012) tiene como objetivo generar una programación de horarios de personal para mejorar la eficiencia del servicio y reducir las estadías de los pacientes; en este sentido, la presente investigación se relaciona, pues la tabla 2 muestra en qué momentos es necesario tener más o menos personal para lograr dicho objetivo.



## CONCLUSIONES

Se presentó un modelo de RC diferente a los que se encontraron en las referencias, muestra diversos escenarios y la sensibilidad de la matriz de ruta de probabilidades. El modelo de RC que se desarrolló en la presente investigación proporciona un análisis rápido de un sistema, lo cual es bueno cuando los analistas únicamente necesitan información crítica del sistema para la toma de decisiones y estrategias.

A partir de los datos disponibles y en el contexto del tema más los supuestos se podría utilizar el modelo en la planificación de las actividades de la SU, mediante la tabla 2 de indicadores de eficiencia, para minimizar o eliminar la sobresaturación. El modelo y las simulaciones muestran que el nivel óptimo de funcionalidad de la SU ocurre para valores de  $p_2$  menores a 25%, o que si  $\mu_3$  es menor o  $p_1$  toma valores cercanos a 0.36 (es decir 36%) se congestiona el área de OYS, lo cual hace patente la necesidad de implementar estrategias de administración o médicas.

El modelo propuesto es susceptible de implementar variantes de investigación futura, desde considerar más atributos de los patrones de llegada de los pacientes, como a estos mismos o con supuestos más naturales. Los autores del presente creen que futuras extensiones de este trabajo pueden conducir al desarrollo de configuraciones de servicios que proporcionen una mejor correspondencia entre el nivel de atención y las necesidades de los clientes que los basados en las prácticas de toma de decisiones.

Los autores desean agradecer a los directivos del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, en especial al personal relacionado con el servicio de urgencias médicas, por su disposición, apertura y tiempo en cada una de las reuniones, así como por el acceso a la información. Se agradece el apoyo de PROMEP 103.5/10/4547 y 103.5/16/8952 por parte de los autores Rodolfo Rafael Medina Ramírez y José Antonio Vázquez Ibarra. Asimismo, el equipo de investigación agradece a los evaluadores anónimos por sus constructivos comentarios y sugerencias.

**REFERENCIAS**

- Au-Yeung, S. W. M., Harrison, P. G., & Knottenbelt, W. J. (2006). A queueing network model of patient flow in an accident and emergency department. *Proceedings of the 20th Annual European and Simulation Modelling Conference*, 60-67.
- Cochran, J. K., & Roche, K. T. (2009). A multi-class queueing network analysis methodology for improving hospital emergency department performance. *Computers and Operations Research*, 36(5), 1497-1512. doi: 10.1016/j.cor.2008.02.004
- Côté, M. J. (2000). Understanding patient flow. *Decision Line*, 31(2), 8-10.
- Derlet, R. W., Richards, J. R., & Kravitz, R. L. (2008). Frequent overcrowding in US emergency departments. *Academic Emergency Medicine*, 8(2), 151-155. doi: 10.1111/j.1553-2712.2001.tb01280.x
- Filipowicz, B., & Kwiecień, J. (2008). Queueing systems and networks. Models and applications. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences*, 56(4), 379-390.
- Gómez Dantés, O., Sesma, S., Becerril, V. M., Knaul, F. M., Arreola, H., & Frenk, J. (2011). Sistema de salud de México. *Salud Pública de México*, 53(Supl. 2), S220-S232. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/spm/v53s2/17.pdf>
- Gross, D., & Harris, C. M. (1998). *Fundamentals of queueing theory* (3<sup>rd</sup> ed.). John Wiley & Sons. doi: 10.1002/9781118625651
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001). *Introduction to Operation Research* (7th ed.). New York, NY: McGraw Hill.
- Hospitalesmexico.com © Datos públicos. (s. f.). Directorio hospitales, clínicas y consultorios en México [Portal electrónico]. Recuperado de <https://hospitalesmexico.com/>
- Izady, N., & Worthington, D. (2012). Setting staffing requirements for time dependent queueing networks: The case of accident and emergency departments. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 531-540. doi: 10.1016/j.ejor.2011.10.040
- Jiang, L., & Giachetti, R. E. (2008). A queueing network model to analyze the impact of parallelization of care on patient cycle time. *Health Care Management Science*, 11(3), 248-261. doi: 10.1007/s10729-007-9040-9
- Jlassi, J., Mhamedi, A. E., & Chabchoub, H. (2009). Networks of queues with multiple customer types: Application in emergency departments. *International Journal of Behavioural and Healthcare Research*, 1(4), 400. doi: 10.1504/IJBHR.2009.032157
- Krieger, U. R. (2008). *Queueing networks and Markov chains*, 2nd edition by G. Bolch, S. Greiner, H. de Meer, and K. S. Trivedi. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2006, 878 pages, ISBN 0-471-56525-3. Book review. *IIE Transactions*, 40(5), 567-568. doi: 10.1080/07408170701623187
- Mayhew, L., & Smith, D. (2008). Using queueing theory to analyse the government's 4-H completion time target in accident and emergency departments. *Health Care Management Science*, 11(1), 11-21. doi: 10.1007/s10729-007-9033-8
- Olorunsola, S. A., Adeleke, R. A., & Ogunlade, T. O. (2014). Queueing analysis of patient flow in hospital. *IOSR Journal of Mathematics*, 10(4) Ver. VI, 47-53.
- Vázquez I., J. A., González S., R. A., & Juárez L., H. A. (2014). *Modelado computacional de un servicio de urgencias considerando las variables relacionadas con el factor humano y con los tiempos de atención en consulta de acuerdo con el diagnóstico* (Tesis doctoral). Centro Universitario de los Lagos-UdeG, México.
- Véricourt, F. de, & Jennings, O. B. (2011). Nurse staffing in medical units: A queueing perspective. *Operations Research*, 59(6), 1320-1331. doi: 10.1287/opre.1110.0968
- Zhu, H., Gong, J., & Tang, J. (2013). A queueing network analysis model in emergency departments. *IEEE Xplore*, 1829-1834.

El transporte de carga y el comercio internacional  
de los países miembros del TLCAN:  
Un análisis de elasticidades

Freight transport and international trade of NAFTA member:  
An elasticity analysis

América I. Zamora Torres\*, Diana Areli Mora Zimbrón\*\*✉

Zamora Torres, A. I., & Mora Zimbrón, D. A. (2018). El transporte de carga y el comercio internacional de los países miembros del TLCAN: Un análisis de elasticidades. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 58-72.

RESUMEN

El presente trabajo aborda el tema del transporte de carga en el contexto del comercio internacional entre los países miembros del Tratado de Libre Comercio de América del Norte; es decir, México, Estados Unidos y Canadá mediante un análisis de elasticidades con las variables: infraestructura, costos, importaciones, exportaciones y volumen de carga en el transporte carretero. La importancia del tema radica en la sustancial operativa comercial entre los países miembros del TLCAN, que ha provocado una significativa dependencia de la economía mexicana a partir de la firma del mismo. Entre los principales resultados se muestra que las exportaciones mexicanas hacia EE. UU. presentan una elasticidad positiva con relación a la infraestructura, se puede afirmar que los cambios en la red carretera provocan una mayor sensibilidad en el comportamiento de las ex-

**Palabras clave:** elasticidades; México; Estados Unidos; Canadá; transporte carretero.

**Keywords:** elasticities; Mexico; United States; Canada; road transport.

Recibido: 31 de agosto de 2017, aceptado: 5 de marzo de 2018

\* Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Gral. Francisco J. Múgica s/n, Felicitas del Río, C. P. 58040, Morelia, Michoacán, México.  
Correo electrónico: americazt@gmail.com

\*\* Escuela de Negocios Internacionales, Universidad de Morelia. Fray Antonio de Lisboa 22, Col. 5 de Mayo, C. P. 58230, Morelia, Michoacán, México.

✉ Correo electrónico: dianazimbron@hotmail.com  
Autor para correspondencia

portaciones. Las elasticidades obtenidas para las importaciones mexicanas provenientes de EE. UU. con respecto a la infraestructura fueron elásticas positivas, con excepción de los años 2001 y 2009.

ABSTRACT

The present paper proposes to address the issue of freight transportation in the context of international trade between the member countries of the North American Free Trade Agreement, that is, between Mexico, the United States and Canada through an analysis of elasticities and variables considered: infrastructure, costs, imports, exports and cargo volume in road transport. The importance of the present subject is that there is an important commercial operation between the three countries members of NAFTA and this commercial operation has provoked a significant dependence on the part of the Mexican economy from the signature of the same one. Among the main results it is shown that Mexican exports to the US in relation to infrastructure in most positive elasticities results, it is possible to review the changes in the road network cause a greater sensitivity in the behavior of exports. Regarding the elasticities obtained for Mexican imports from the United States with respect to the infrastructure of elastic tests, with the exception of the years 2001 and 2009.

## INTRODUCCIÓN

México cuenta con 12 tratados de libre comercio, de los cuales, el TLCAN ha sobresalido económica y mercadológicamente, desde su firma y posterior entrada en vigor, el 1 de diciembre de 1994. El TLCAN cobra importancia debido a la frontera compartida con EE. UU. y por ser con este país con el que México mantiene el mayor porcentaje de sus relaciones comerciales internacionales.

De acuerdo con la Secretaría de Economía (2014), el objetivo de este tratado es "formar una Zona de Libre Comercio, estableciendo reglas claras y permanentes para el intercambio comercial, que permita el incremento de flujo comercial e inversión, así como nuevas oportunidades de empleo y mejores niveles de vida" (pág. cita textual).

Las cifras publicadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía con relación al comercio exterior de México con Canadá y EE. UU. muestran que del total de las exportaciones mexicanas durante 2015, 81.5% y 2.77% tuvieron como destino EE. UU. y Canadá, respectivamente; mientras para las importaciones mexicanas totales para el mismo año el INEGI reportó que 47.26% fueron de procedencia estadounidense y 2.52% canadiense.

El comercio estadounidense hacia México ha cambiado desde 1994. De acuerdo con información publicada por la Oficina del Censo de los EE. UU. (US Census Bureau, 2015), las importaciones estadounidenses procedentes de México en 1994 eran de 9.85%, mientras del total de sus exportaciones, 10.12% eran enviadas hacia México. Al 2015, dichas cifras eran de 19.63% y 15.61%, respectivamente. Es notable el aumento en el comercio estadounidense con México, aunque evidente también la dependencia comercial de México con respecto a la economía norteamericana. Sin embargo, EE.UU. ha sabido diversificar sus operaciones comerciales con otros países.

En cuanto al tipo de transporte utilizado, México tiene una gran preferencia por la utilización del transporte terrestre para su operativa comercial. De dicho sector, el autotransporte de carga o transporte carretero es el más utilizado, sobre todo en el comercio exterior mexicano, debido al bajo costo del mismo, el fácil acceso a empresas dedicadas a este giro para el transporte de mercancías y, sobre todo, debido a la cercanía con EE. UU., situación por la

cual las empresas prefieren enviar sus productos por medio del autotransporte.

De acuerdo con datos del INEGI, en relación con los bienes exportados e importados por México en 2013, el transporte carretero fue el que más mercancía operó, con 56% y 51% de exportaciones e importaciones, respectivamente. Tanto para Canadá como para México el transporte carretero es el más utilizado en materia de comercio exterior con 43% y 54%, respectivamente, según el INEGI (2012), lo que implica solamente una de las similitudes existentes entre ambos países. La norma operativa del transporte de carga ha sido variable desde antes de la firma del tratado. En la década de los 80 los camiones de carga domiciliados en México podían solicitar una autorización a la Comisión Interestatal de Comercio para acceder y operar en EE. UU.

No obstante, en 1982 el Congreso estadounidense autorizó la iniciativa presidencial consistente en imponer una moratoria de dos años para la expedición de nuevos permisos que autorizaran la operación de los camiones de carga con domicilio en los países vecinos mediante la Ley de Reforma de la Regulación de Transporte, por lo que las unidades mexicanas y canadienses quedaron con acceso restringido al territorio estadounidense, como respuesta México y Canadá negaron también el acceso de camiones estadounidenses a sus respectivos países (Mendoza Cota & Díaz, 2003).

Para Canadá este conflicto no duró mucho tiempo; sin embargo, a México le llevó más de una década avanzar en el tema; es decir, hasta la firma del TLCAN en 1994, ya que el anexo del TLCAN que hace referencia al transporte de carga carretero establece que EE. UU. deberá levantar gradualmente la moratoria a los camiones domiciliados en México para su operación dentro de territorio estadounidense, por lo que a partir de la entrada en vigor del tratado EE. UU. comenzó a admitir solicitudes de autobuses mexicanos de pasajeros con el objetivo de conducir unidades bajo la operación de contratos de flete e incluso para realizar recorridos turísticos en EE. UU. (SCT, 2014).

En este contexto, las empresas que proporcionan servicios de carga vieron la oportunidad de negociar en un mercado cuyo dinamismo económico fuera mayor. Lamentablemente, dicha situación fue frenada por el sindicato de camioneros en EE. UU., denominado The International Brotherhood of Team-

sters, que solicitaron la suspensión de la Regla de la Comisión en la Corte de Apelaciones de EE. UU. en el Distrito de Columbia el 15 de diciembre de 1995. Tres días después se anunció la suspensión indefinida de la aplicación de las disposiciones del TLCAN para el acceso de los camiones de carga por parte del Departamento de Transporte de EE. UU. (Mendoza Cota & Díaz, 2003). Las empresas transportistas en México regresaban a la situación de la década de los 80, aun con la firma del tratado más anunciado en la historia mexicana.

En el año 2000 un panel de arbitraje formado por miembros de ambos países admitió la violación del TLCAN ante la suspensión impuesta por EE.UU. a los camiones mexicanos (SCT, 2014). Sin embargo, el gobierno mexicano abandonó el tema del transporte de carga por 10 años, aun con el fallo a favor del panel de arbitraje. Fue hasta el mes de marzo de 2011 que la SCT (2015), en conjunto con el Departamento de Transporte de EE. UU., suscribió un memorándum donde una vez cumplidos una serie de procedimientos, se permitía a las empresas tanto mexicanas como estadounidenses el tránsito permanente en ambos países, como respuesta al programa piloto de autotransporte transfronterizo entre México y EE. UU., cuya duración fue de tres años (Mendoza Cota & Díaz, 2003). Las empresas que finalizaron el programa piloto obtuvieron, a principios de 2016, el permiso de prestación de Servicios Internacionales de Autotransporte de Carga de Largo Recorrido, dos décadas después de la firma del TLCAN.

El objetivo del presente estudio fue realizar un análisis del transporte de carga internacional mexicano mediante la determinación de las principales variables que inciden en el comportamiento del comercio internacional de los países miembros del TLCAN.

Con el fin de lograr el objetivo planteado se propuso un estudio de elasticidades partiendo del concepto de *elasticidad desde la perspectiva económica*, término introducido por el matemático, filósofo y economista francés Antoine-Auguste Cournot como una medida de la sensibilidad de la cantidad demandada o de la cantidad ofrecida ante el cambio en alguno de sus factores determinantes, es utilizada generalmente con respecto al precio o la renta (Silvestre Méndez, 1999).

Alfred Marshall en 1890 consolida el concepto mediante la elasticidad precio de la demanda; es

decir, mediante la utilización de las variables oferta y demanda, con la finalidad de estimar la sensibilidad que muestra la cantidad obtenida ante los pequeños cambios registrados por el precio (Marshall en Silvestre Méndez, 1999). No obstante, el cálculo de elasticidades es de gran utilidad debido a que permite un manejo de diferentes variables, no solo el precio y la demanda como fue desarrollado en sus orígenes.

Este trabajo se divide en cinco secciones -incluida introducción- donde se describe la situación y comportamiento del transporte de carga internacional en México, EE. UU. y Canadá, seguida de la sección de Materiales y Métodos, describiendo el procedimiento metodológico a utilizar, posteriormente se mencionan los resultados obtenidos y se realiza un breve análisis de los mismos en la parte de discusión, por último en la sexta sección las principales conclusiones alcanzadas, así como la discusión de las mismas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La mayor parte de los estudios relativos al tema del transporte de carga enfatizan la importancia de los costos y la infraestructura. De acuerdo al IMT (2015), los costos de operación en el transporte en este sector son muy variables debido a que están en función del mantenimiento de la unidad, la forma de conducción de cada operador, los tipos de caminos, el nivel de utilización, tipo de motores, antigüedad de las unidades, entre otras características. Por tanto, cada unidad tiene su costo de operación, que no es considerado de manera precisa por los transportistas, sobre todo por los pequeños proveedores denominados *hombres-camión*, que coexisten con empresas de mayor capacidad.

Dussel Peters (2008) también refiere los costos al plantear la realización de un estudio de mediano y largo plazo del transporte terrestre de carga, tanto a nivel regional como sectorial. Mientras, Coase (1988) define los costos de transacción como: "los costos de medir el valor de los atributos de lo que se está intercambiando y los costos de proteger derechos, vigilar y hacer valer acuerdos", aunque es importante tomar en cuenta que en México las empresas transportistas y los *hombres-camión* calculan sus costos de formas diferentes, por lo que no existe unificación en el cálculo de estos.

Sáez y Valdés (1999) se enfocan en la importancia de los acuerdos para lograr una reducción en los costos debido a que los acuerdos se encargan de proveer un conjunto de reglas aplicables a los miembros, que proporcionan estabilidad, estimulan la transparencia mediante obligaciones específicas y promueven su cumplimiento mediante instrumentos vinculantes. De acuerdo con la SCT (2014), el autotransporte mexicano opera 80% de la carga por medio de unidades motrices, utilizando mayormente tractocamiones de tres y dos ejes, camiones de dos y tres ejes, entre otros; de los cuales no todos se encuentran registrados actualmente ante la SCT, sin mencionar unidades de arrastre y grúas industriales.

Otra de las variables que más enfatizan las investigaciones relativas al transporte de carga en el comercio internacional es la infraestructura. Prud'homme (2005) compara el efecto de la infraestructura y la reducción de aranceles con el tamaño del mercado, afirmando que ante una inversión en infraestructura se provoca una reducción de aquellos y un incremento en el tamaño del mercado en una determinada economía. Asimismo, Aschauer (1989) afirma que la infraestructura tiene un efecto positivo en la producción, por lo que la productividad se ve afectada de manera directa por la infraestructura en el transporte, y abarca puertos, carreteras y aeropuertos. Cipoletta Tomassian, Pérez Salas y Sánchez (2010) resaltan la influencia que tienen las políticas sectoriales y los aspectos medioambientales en el transporte y en la logística, sin dejar de mencionar la variable infraestructura con acento en la importancia de la calidad y la utilización de la misma; mientras que Aschauer (1989), García-Milà & McGuire (1992) y Munell (1990) afirman que un aumento en la red carretera tiene un efecto positivo en el crecimiento del PIB per cápita.

La calidad en la infraestructura es una variable primordial en el estudio de la eficiencia del transporte, aparece también citada en estudios realizados por Wilmsmeier y Sánchez (2009) y Arvis, Alina Mostra, Panzer, Ojala, & Naula (2007), entre otros. Existen otras variables que determinan las exportaciones, como el tipo de cambio real que de acuerdo con Macías (2003) es una de las variables más importantes en la operativa comercial de un país con el exterior, así como los costos laborales en el sector en cuestión, ya que la dinámica laboral es diferente. En México un conductor de camión percibe alrededor de 11,691 dólares estadounidenses al año (WageIndicator Foundation, 2016), mientras un conductor

estadounidense contratado por una empresa privada percibe 44,000 dólares estadounidenses anuales según el US Department of Labor (Departamento de Trabajo de los Estados Unidos, 2016).

Si se toma como base la revisión de estudios comentados se propone el cálculo de elasticidades puntuales, utilizando como datos principales la operativa comercial de los tres países que conforman el TLCAN con respecto a la economía mexicana, en relación con las dos variables destacadas en la mayoría de los estudios relativos al transporte; es decir, la infraestructura y los costos. Estos últimos representados por el índice de precios al productor debido a la variabilidad del cálculo entre una empresa y un hombre-camión en sus costos, una de las razones por las que México actualmente no cuenta con una base estadística relativa a los costos de transporte.

La elasticidad de manera aritmética se representa mediante el cambio porcentual de la cantidad demandada dividida entre el cambio porcentual en el precio, en donde hay una relación inversa (Gómez Leyja, & Hernández Rodríguez, 1995). Se pueden encontrar de forma estricta dos tipos de sensibilidades entre variables en el cálculo de elasticidades: elástica e inelástica; ambos casos son los extremos de los posibles resultados que se pueden obtener al realizar dicho cálculo. Se afirma que se tiene una sensibilidad elástica cuando el valor de la elasticidad es mayor a uno. Por ejemplo, en la elasticidad precio de la demanda indica que a un determinado cambio porcentual en el precio le corresponde un cambio porcentual mayor en la cantidad demandada (Gómez Leyja & Hernández Rodríguez, 1995). En la figura 1 se pueden observar las relaciones elásticas e inelásticas entre las variables precio y demanda.

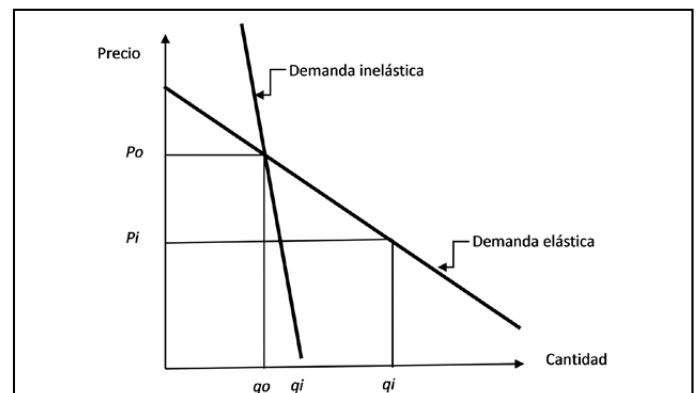


Figura 1. Elasticidad elástica e inelástica.  
Elaboración propia.

En relación con la demanda inelástica, ésta indica que la cantidad demandada es muy poco sensible a los cambios en el precio, en este caso menor a uno; por tanto, si el precio disminuyera la cantidad demandada aumentaría menos que proporcionalmente al cambio en el precio. En un escenario ideal se desprende el razonamiento de la elasticidad unitaria indicando que tanto el cambio porcentual del precio como el de la demanda son iguales, por lo que la cantidad demandada se mantiene constante a cualquier nivel de precio (Gómez Leyja & Hernández Rodríguez, 1995). La elasticidad del precio de la demanda de un producto o servicio se refiere a la respuesta a las variaciones del precio, su objetivo es maximizar las ganancias (Gujarati & Porter, 2010).

A grandes rasgos, la fórmula para el cálculo de una elasticidad es la siguiente:

$$\text{Elasticidad precio de la demanda} = \frac{\text{Porcentaje cambio de demanda}}{\text{Porcentaje cambio precio}}$$

La elasticidad de la demanda de servicios del autotransporte de carga mexicano en el comercio internacional con respecto a la infraestructura logística indica el cambio porcentual de la demanda en respuesta a un cambio de 1%, por ejemplo, en el total de la red carretera. Conocer el dato anterior beneficia y apoya a las empresas en la planeación de sus estrategias empresariales y al gobierno en materia de políticas públicas y apoyo empresarial. El objetivo de realizar el cálculo de elasticidades puntuales es

medir y conocer la sensibilidad de una determinada variable X en una variable Y, para determinar la influencia de las variables propuestas en relación con el autotransporte de carga mexicano con respecto a la operativa comercial que maneja con sus socios de norteamericanos; es decir, EE. UU. y Canadá. Las series de datos utilizadas corresponden a los años 1990-2014, hay que tomar en cuenta que el TLCAN fue firmado en 1992 y entró en vigor en 1994; las series fueron obtenidas de las Estadísticas de Transporte de América del Norte (2013) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2012, 2013).

Para representar el transporte de carga se utilizarán los datos relativos a las importaciones y exportaciones mexicanas realizadas con EE. UU. y Canadá mediante la utilización del transporte carretero de carga (tabla 1). Las variables independientes son el costo y la infraestructura; el costo se encuentra representado por el índice de precios al productor de transporte de carga, y la infraestructura por el total de la red carretera en México y las unidades vehiculares de carga mexicanas.

La elasticidad mide la sensibilidad de una variable con respecto a otra y es un número libre de medidas, debido a que es una razón entre cambios porcentuales, se puede representar de la siguiente manera:

$$e = \frac{\% \Delta X}{\% \Delta Y}, \quad X \text{ Variable dependiente; } Y \text{ Variable independiente}$$

Tabla 1  
Variables utilizadas en el cálculo de elasticidades puntuales

Transporte de carga (carretero)	Siglas
Exportaciones a EE. UU.-Transporte carretero de carga	(EXP-EE. UU.)
Exportaciones a Canadá-Transporte carretero de carga	(EXP-CANADA)
Importaciones de EE. UU.-Transporte carretero de carga	(IMP-EE. UU.)
Importaciones de Canadá-Transporte carretero de carga	(IMP-CANADA)
Volumen de carga mexicano	(VC)
Costos	
Índice de precios al productor de transporte de carga	(INPPAC)
Infraestructura	
Carreteras total de la red	(TRC)
Unidades vehiculares de carga	(UV)

Nota: Elaboración propia.

Donde  $e$  es el símbolo que representa la elasticidad; es decir, la sensibilidad que tiene la variable  $X$  ante un cambio porcentual de la variable  $Y$ . Dicho en otras palabras: en qué porcentaje depende la variable  $X$  de un movimiento porcentual de la variable  $Y$ . Existen diferentes tipos de elasticidades, clasificadas de acuerdo a si la elasticidad es mayor, igual o menor que la unidad: elásticas, unitarias o inelásticas, respectivamente.

Cuando la variable dependiente  $X$  es relativamente insensible a las variaciones de la variable  $Y$  la elasticidad toma valores menores a la unidad. De acuerdo con la condición de Marshall Lerner el resultado anterior indica que la variable  $X$  no presenta ningún cambio cuando se presenta una variación en  $Y$ ; es decir, que la presente relación de variables no presentaría influencia alguna en el comportamiento del autotransporte de carga relativo al comercio exterior con México o Canadá.

Por otra parte, cuando se obtiene una elasticidad unitaria, se entiende que la variable dependiente  $X$  es sensible a las variaciones de  $Y$ , cabe resaltar que dicha variación no ocasiona un cambio relevante en el comportamiento de la variable  $X$ . Si la variable dependiente  $X$  es muy sensible a las variaciones de  $Y$ , se obtiene como resultado una elasticidad mayor a la unidad. Dicho resultado, con referencia a la condición de Marshall-Lerner, significa que ante una variación porcentual de  $Y$ , la variable  $X$  provoca un cambio significativo en el comportamiento del autotransporte de carga internacional mexicano (Mahmud, Ullah, & Yucel, 2004).

Las clasificaciones de elasticidad mencionadas en los párrafos anteriores se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2  
Clasificación de las elasticidades

Elasticidad	Clasificación
$E > 1$	Elástica
$E = 1$	Elástica unitaria
$E < 1$	Inelástica

Nota: Elaboración propia.

Algunas de las elasticidades a calcular durante el presente ensayo se presentan a continuación, se refieren al comercio exterior mexicano con Canadá.

$$e = \frac{\% \Delta M \text{Canadá}}{\% \Delta INPPAC} \quad e = \frac{\% \Delta M \text{Canadá}}{\% \Delta TRC} \quad e = \frac{\% \Delta M \text{Canadá}}{\% \Delta UVC}$$

$$e = \frac{\% \Delta X \text{Canadá}}{\% \Delta INPPAC} \quad e = \frac{\% \Delta X \text{Canadá}}{\% \Delta TRC} \quad e = \frac{\% \Delta X \text{Canadá}}{\% \Delta UVC}$$

Donde  $M$  y  $X$  son las variables dependientes y se refieren a las importaciones y exportaciones mexicanas a Canadá mediante la utilización del autotransporte de carga, respectivamente, mientras las variables independientes que se consideraron fueron: el Índice Nacional de Precios al Productor de transporte de carga (INPPAC); el total de la red carretera (TRC) y las unidades vehiculares de carga (UVC). También se calcularon las elasticidades referentes al comercio con EE. UU., donde  $M$  y  $X$  son las variables dependientes y se refieren a las importaciones y exportaciones mexicanas a EE. UU. mediante la utilización del autotransporte de carga, respectivamente, mientras las variables dependientes fueron las mismas que para el comercio con Canadá.

$$e = \frac{\% \Delta M \text{EEUU}}{\% \Delta INPPAC}; \quad e = \frac{\% \Delta M \text{EEUU}}{\% \Delta TRC}; \quad e = \frac{\% \Delta M \text{EEUU}}{\% \Delta UVC};$$

$$e = \frac{\% \Delta X \text{EEUU}}{\% \Delta INPPAC}; \quad e = \frac{\% \Delta X \text{EEUU}}{\% \Delta TRC}; \quad e = \frac{\% \Delta X \text{EEUU}}{\% \Delta UVC};$$

Adicionalmente, se realizó el cálculo de las elasticidades referentes al volumen de carga mexicano, siendo ésta una de las variables dependientes, mientras las variables independientes son las mismas que en las elasticidades correspondientes a EE. UU. y Canadá. Se consideró importante tomar en cuenta las variaciones en el volumen de carga para conocer el comportamiento del mercado mexicano en relación con los cambios económicos locales e internacionales y, sobre todo, la evolución que se haya tenido a partir de la firma del TLCAN.

$$e = \frac{\% \Delta VC}{\% \Delta INPPAC}; \quad e = \frac{\% \Delta VC}{\% \Delta TRC}; \quad e = \frac{\% \Delta VC}{\% \Delta UVC}$$

Por último, para el mismo periodo en cuestión se calculó un modelo de regresión simple mediante el método de mínimos cuadrados. Lo anterior, de acuerdo con Gujarati y Porter (2010) con el objetivo de confirmar la dependencia de una variable respecto a otra, con un nivel de significancia de 5%, en donde a medida que el valor de la variable independiente incrementa en una unidad, el incremento estimado en la variable dependiente incrementará en promedio el valor que se obtenga en el coeficiente.



Dicho cálculo se llevó a cabo con ayuda del paquete estadístico Eviews 7.

## RESULTADOS

A continuación se explican los resultados de las elasticidades obtenidas, en el detalle de las elasticidades de las importaciones mexicanas a Canadá mediante el transporte carretero con respecto al índice de precios al productor desde 1990, que se puede observar en la figura 2. Las variaciones comienzan a presentarse a partir de 1996 de manera positiva, para regresar aproximadamente al mismo nivel al año siguiente debido a que es precisamente en 1996 cuando las importaciones mexicanas provenientes de Canadá comenzaron a aumentar de manera constante, lo que se puede explicar por la crisis económica denominada burbuja puntocom, que a su vez marcó la rápida fundación de empresas que se encontraban vinculadas al internet, que en 2002 afectaron los mercados internacionales debido a su cierre o fusión.

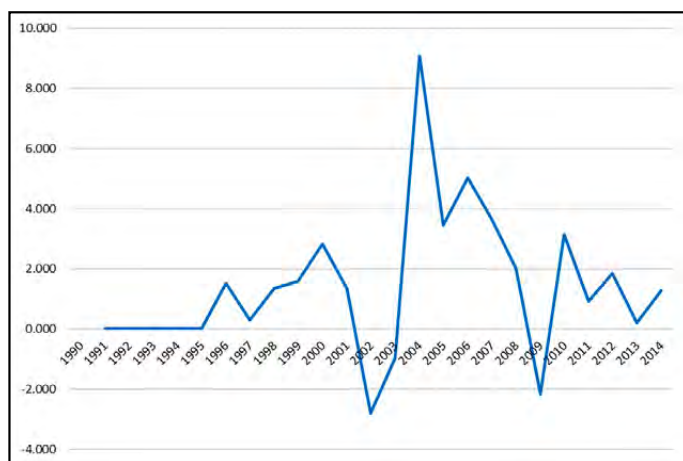


Figura 2. Elasticidades de las importaciones mexicanas provenientes de Canadá mediante el transporte carretero con respecto al índice de precios al productor. Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016) y Estadísticas de Transporte de América del Norte (2013).

En 2002 las importaciones provenientes de Canadá disminuyeron de manera drástica, en 2009 se dio una reducción aunque no del nivel presentado en 2002; lo que se puede explicar debido a la recesión en la que entró México en 2009 como consecuencia de la crisis que vivía EE. UU., donde México tuvo la mayor recesión de los países de América Latina, que incluso aumentó su deuda externa en 70%. El comportamiento de las importaciones mexicanas provenientes de Canadá por medio del transporte

carretero con respecto a la variable que representan a la infraestructura se puede observar en la figura 3. Los cambios a lo largo de la serie de datos del total de la red carretera y de las unidades vehiculares de carga provocan un comportamiento similar en las importaciones mexicanas provenientes de Canadá, incluso presentan una tendencia muy parecida en los dos tipos de elasticidades referentes a infraestructura. Se obtuvieron elasticidades positivas en 1996 y 2004, de la misma manera que en la gráfica anterior, aunque con una tendencia mucho más marcada, así como elasticidades negativas para 2009. Dicho comportamiento acentúa la influencia de las crisis económicas en el comportamiento del comercio exterior mexicano.

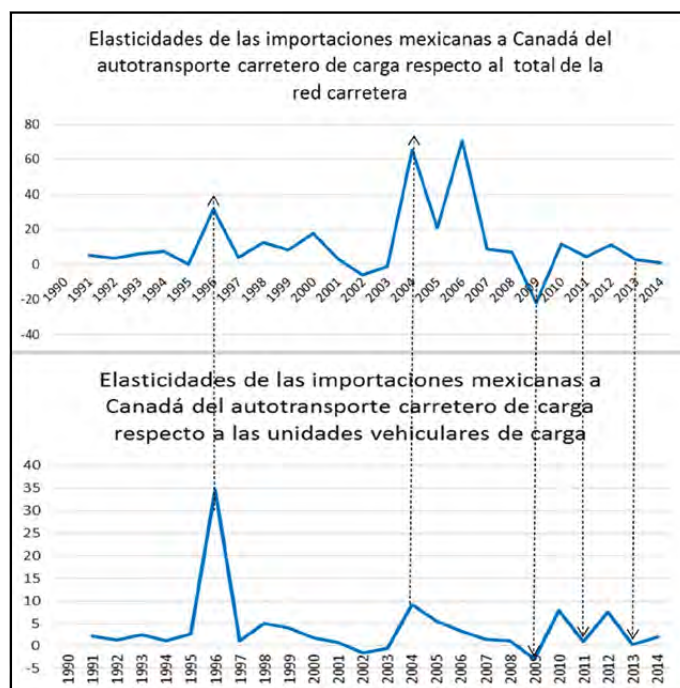


Figura 3. Elasticidades de las importaciones mexicanas de Canadá mediante el transporte carretero con respecto a la infraestructura. Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016) y Estadísticas de Transporte de América del Norte (2013).

En relación con el comportamiento de elasticidades de las exportaciones mexicanas hacia Canadá mediante el transporte carretero con respecto al índice de precios al productor se obtuvo un comportamiento positivo y verdaderamente alto en 2007 y un repunte en 2009 (figura 4). Después las elasticidades comenzaron a disminuir hasta tocar puntos negativos, donde se aprecia una difícil recuperación de las exportaciones, sobre todo si se toma en cuenta que debido al aumento en el diésel

el precio del transporte de carga mexicano no bajará a corto plazo.



Figura 4. Elasticidades de las exportaciones mexicanas hacia Canadá mediante el transporte carretero con respecto al índice de precios al productor. Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016) y Estadísticas de Transporte de América del Norte (2013).

Por parte de las exportaciones mexicanas hacia Canadá, la infraestructura representada por el total de la red carretera y las unidades vehiculares muestran un comportamiento positivo en las elasticidades calculadas, mismo que puede observarse en la figura 5. Se pueden distinguir elasticidades con valores positivos muy altos en ambos, por señalar algunos se pueden observar los años 2004 y 2009, así como el periodo comprendido desde 1995 hasta 1998, en los cuales aunque se obtuvieron elasticidades positivas para los dos casos, se infiere que las exportaciones mexicanas hacia Canadá son mucho más sensibles a la variación en el número de unidades vehiculares de carga, lo que provoca un cambio mayor. Es importante señalar que en 2004 se inició el programa de chatarrización para las unidades de carga en México y vigente en la actualidad. La mayor parte de las elasticidades obtenidas fueron positivas, aunque es importante destacar el comportamiento drástico de las negativas; estas son observables en 2001 y 2009, años en los que se presentaron dificultades económicas importantes, tanto en México como en otras economías.

Por otra parte, en el año 2000 hay un aumento en el comercio exterior mexicano debido al rápido aumento en las exportaciones a nivel mundial de productos agropecuarios, en la industria extractiva, así como en la producción manufacturera, lo anterior se vio reflejado mayormente en las economías de América del Norte y Asia (Organización Mundial del Comercio, 2002).

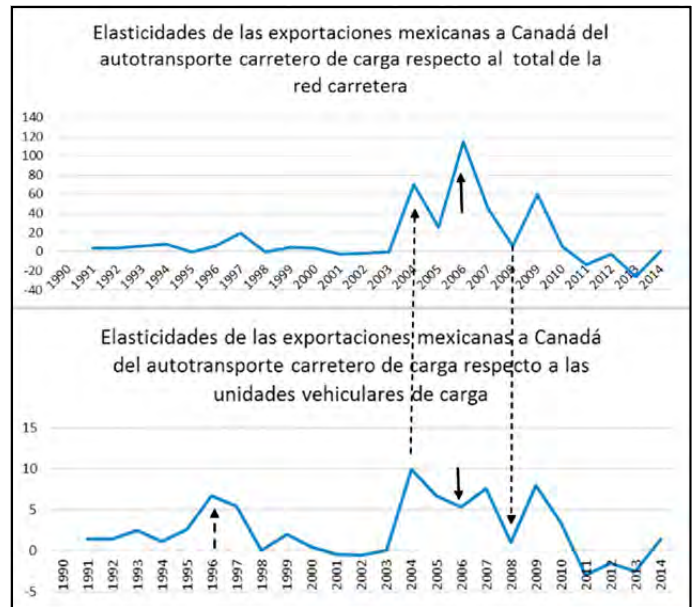


Figura 5. Elasticidades de las exportaciones mexicanas hacia Canadá mediante el transporte carretero con respecto a la infraestructura. Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016) y Estadísticas de Transporte de América del Norte (2013).

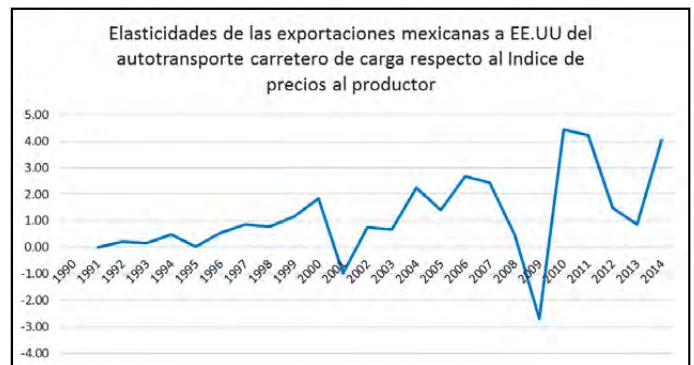


Figura 6. Elasticidades de las exportaciones mexicanas hacia EE. UU. mediante el transporte carretero con respecto al índice de precios al productor. Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016) y Estadísticas de Transporte de América del Norte (2013).

Las elasticidades que se obtuvieron de las exportaciones mexicanas a EE. UU. ante cambios en la red carretera y las unidades vehiculares se pueden observar en la figura 7, presentándose en su mayoría positivas con algunas conductas muy marcadas, sobre todo en 1994, esto no puede explicarse mediante el TLCAN debido a que es el año de su entrada en vigor; aunque la disminución en la elasticidad obtenida de 1995 es claramente un reflejo del efecto tequila generado a finales de 1994.

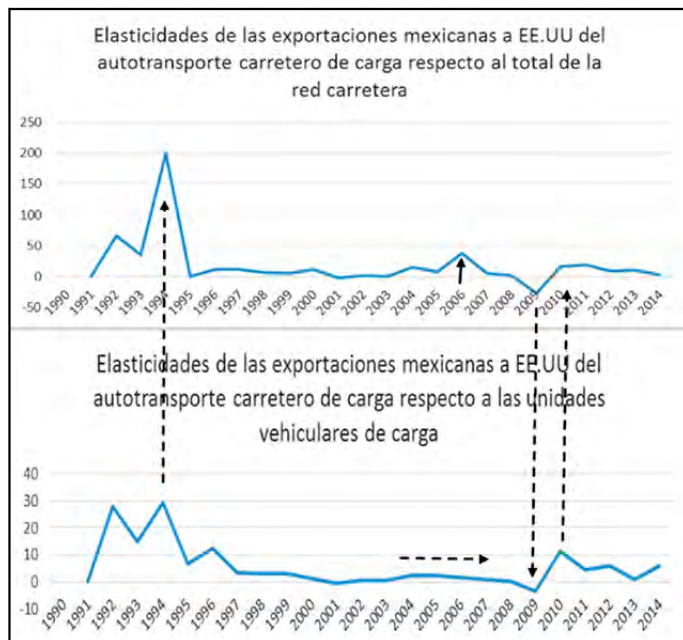


Figura 7. Elasticidades de las exportaciones mexicanas hacia EE. UU. mediante el transporte carretero con respecto a la infraestructura. Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016) y Estadísticas de Transporte de América del Norte (2013).

Por otra parte, en 2006 el aumento de las exportaciones mexicanas hacia EE. UU. fue mayor que en años anteriores, aspecto reflejado en el aumento de la elasticidad obtenida para ese año, sobre todo en los cálculos que incluyen al total de la red carretera, ya que la inversión para esta disminuyó precisamente en 2006, debido al final del sexenio presidencial. En 2009 se obtuvo elasticidad negativa debido a una bastante significativa disminución en las exportaciones.

En relación con las elasticidades obtenidas por parte de las importaciones mexicanas provenientes de EE. UU. con respecto al índice de precios, en 2001 comenzaron a disminuir las importaciones; la caída en ese año fue de 13%, por lo que se obtuvo una elasticidad negativa también debido a que el aumento en el índice de precios no fue suficiente para equilibrar el efecto negativo de las importaciones. Lo anterior se puede observar en la figura 8. La recesión de 2009 también influyó en la disminución de las importaciones para este año, ya que se obtuvo una elasticidad negativa como resultado de la disminución de las importaciones en 23%.

En la figura 9 se puede observar la infraestructura del transporte de carga en México, para las



Figura 8. Elasticidades de las importaciones mexicanas de EE. UU. mediante el transporte carretero con respecto al índice de precios al productor. Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016) y Estadísticas de Transporte de América del Norte (2013).

dos series de datos elegidas presenta una influencia muy parecida en las importaciones mexicanas provenientes de EE. UU., ya que las elasticidades positivas y con mayor valor se presentan en los mismos

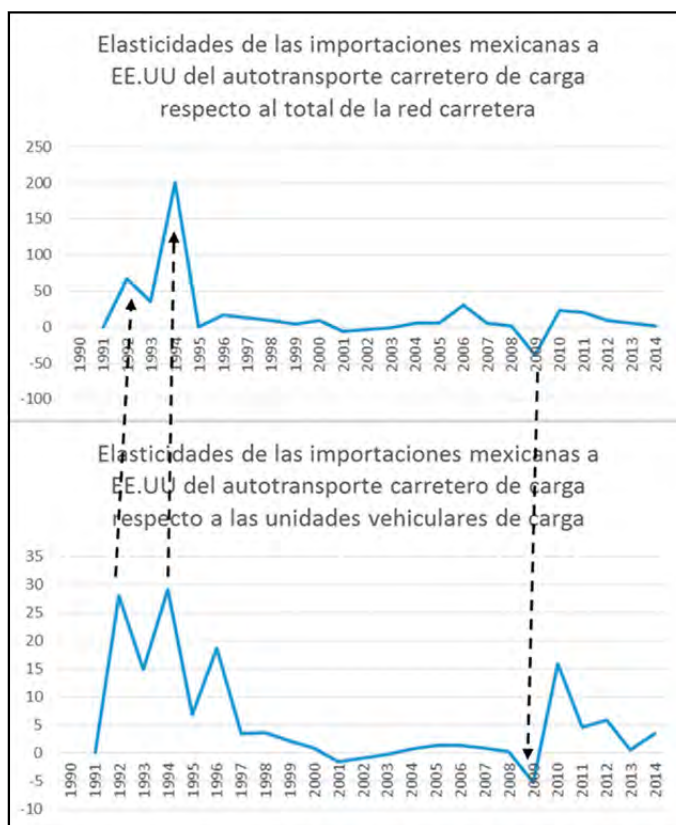


Figura 9. Elasticidades de las importaciones mexicanas de EE. UU. mediante el transporte carretero con respecto a la infraestructura. Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016) y Estadísticas de Transporte de América del Norte (2013).

años; es decir, 1992, 1994 y 1996, aunque resalta la elasticidad negativa obtenida en 2009, que como ya se mencionó es resultado de la disminución de las importaciones en 23%, como consecuencia de la recesión económica.

El cálculo de las elasticidades del volumen de carga mexicano para el mismo periodo, comprendido desde 1990 hasta 2014, se puede observar en la figura 10, en donde resalta el comportamiento positivo de 2007, que en este caso se explica por el aumento en volumen de carga para este año respecto al anterior, de 6.40%.



Figura 10. Elasticidades del volumen de carga mexicano con respecto al índice de precios al productor. Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016) y Estadísticas de Transporte de América del Norte (2013).

Pudo haberse tratado de un impulso económico al sector de transporte de carga que no se vio capitalizado como consecuencia de la crisis financiera internacional presentada en 2007, misma que generó que la demanda del mercado estadounidense se paralizara, lo que afectó de manera directa a la economía mexicana. Finalmente, se presentan en la figura 11 las elasticidades calculadas del volumen de carga ante las variaciones de infraestructura.

Como se puede apreciar el comportamiento es en extremo similar, únicamente por la presencia de una elasticidad mucho más marcada en 1994 para el total de la red carretera, explicada por un aumento en el volumen de carga de 2.47% con respecto al año anterior que, aun cuando no se trata de un incremento significativo, la elasticidad tan alta para este año es consecuencia de la red carretera, que justo para 1994 no creció más que 5 km.

El resto de los resultados presentan elasticidades entre 0 y 1, lo que podría traducirse en un com-

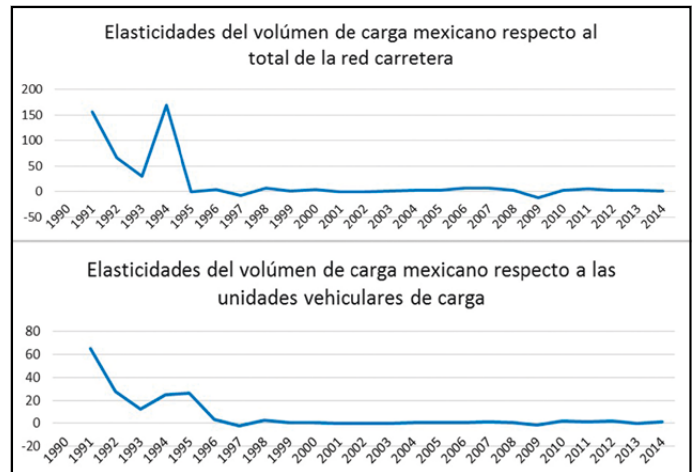


Figura 11. Elasticidades del volumen de carga mexicano con respecto a la infraestructura. Elaboración propia con base en datos del INEGI (2016) y Estadísticas de Transporte de América del Norte (2013).

portamiento inelástico; es decir, que el volumen de carga presenta muy poca sensibilidad ante cambios en la infraestructura.

En relación con el resultado del modelo de regresión, las relaciones entre variables son positivas con 99% de confianza; siendo el índice de precios al productor la variable más influyente en el comercio con Canadá y con EE. UU., aunque también la red carretera provoca una sensibilidad importante en el comercio mexicano con EE. UU.

Tabla 3  
Resultados del Modelo de regresión 1990-2014

Exportaciones a EE. UU.-Transporte carretero de carga		
RC-Red carretera	0.991544	**
UVC-Unidades vehiculares de carga	0.02272	**
IPP-Índice de precios al productor	0.732356	**
Importaciones a EE. UU.-Transporte carretero de carga		
RC-Red carretera	0.48947	**
UVC-Unidades vehiculares de carga	0.010247	**
IPP-Índice de precios al productor	0.540834	**
Exportaciones a Canadá-Transporte carretero de carga		
RC-Red carretera	0.027874	**
UVC-Unidades vehiculares de carga	0.000728	**
IPP-Índice de precios al productor	1.030218	**
Importaciones a Canadá-Transporte carretero de carga		
RC-Red carretera	0.031914	**
UVC-Unidades vehiculares de carga	0.000768	**
IPP-Índice de precios al productor	1.09871	**

Nota: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

Es importante reflexionar acerca de la verdadera aportación del TLCAN en el contexto del transporte de carga, ya que fue justo después de más de dos décadas de la firma del mismo que las unidades mexicanas tuvieron acceso a territorio estadounidense, por lo que es cuestionable el beneficio de dicho tratado a la fecha en el subsector transporte carretero de carga, ya que las unidades mexicanas no han podido capitalizar la oportunidad planteada a partir de la firma del tratado. Asimismo, se encuentra la particular formación de la estructura empresarial del sector carretero mexicano, mismo que se encuentra conformado por más de 147,000 unidades económicas, de las cuales 128,000 se encuentran en la modalidad hombre-camión y 19,000 como empresas (Ramírez, 2015). Dicha modalidad describe a las microempresas que poseen menos de cinco vehículos, que laboran en la informalidad y representan 81.7% del total de la estructura empresarial del auto-transporte de carga mexicano (SCT, 2013).

En Canadá y EE. UU. la estructura empresarial está conformada en su mayoría por empresas legalmente establecidas, aunque en Canadá existe una figura parecida denominada *owners-operators* que abarca 25% de la operación total (Government of Canada, 2016). En los tres países el tamaño de la flota es muy distinta. En 2011, de acuerdo con las Estadísticas de Transporte de América del Norte, EE. UU. tenía registradas 10.9 millones de unidades, mientras México contaba con 689,000 unidades registradas entre empresas y hombres-camión. Ese mismo año Canadá tenía una flota total registrada de 650,000 unidades; es decir, 5.6% menos en relación con la registrada en México (ETAN, 2013).



Figura 12. La antigüedad de las unidades afecta la eficiencia operacional y ambiental.  
Imagen tomada del portal electrónico AltoNivel.com.mx (2016).

La edad promedio de la flota vehicular también es distinta para los tres países; en México es de 16.5 años, mientras para EE. UU. es de cinco años, muy parecida a la canadiense, con 5.1 años promedio (SCT, 2013). Lo anterior es trascendental debido a que la antigüedad de las unidades afecta la eficiencia operacional y ambiental (figura 12), aumenta el costo del autotransporte por sí mismo debido a los gastos de mantenimiento y genera un aumento en el gasto en combustible, lo que se refleja en el precio final.

En términos de costos y regulación otro factor a considerar es la diferencia en el precio de los combustibles. En 2015 el costo del diésel mexicano era 20% inferior al estadounidense, lo cual representaba una ventaja en el cálculo del costo del transportista mexicano. Dicha ventaja ha desaparecido debido a los aumentos graduales en el precio de las gasolinas y el diésel como consecuencia de la liberalización de los precios por parte del gobierno mexicano, lo que provoca que actualmente el costo del diésel en México sea mayor al estadounidense en 28%, ello representa una desventaja competitiva importante para el transportista mexicano, ya que al parecer la única ventaja en costos que tienen estos transportistas en la actualidad es que el salario de sus operarios es cinco veces menor que el de un operario estadounidense (Canadian truckers, 2015).

La diferencia de operación de las unidades mexicanas y canadienses con respecto a las estadounidenses se refiere al tonelaje, ya que mientras en Canadá y México se permite que las unidades carguen hasta 25 Tm, EE. UU. tiene un límite de carga de 20 Tm aproximadamente (Harrington, 2013). Las unidades mexicanas cargan más debido al doble remolque. Existen varias asociaciones en México, entre ellas la Alianza Mexicana de Organizaciones de Transportistas, que han estado solicitando la prohibición de este tipo de unidades, debido a la inseguridad que representan.

Por otra parte, en EE. UU. el principal medio de transporte utilizado en el comercio exterior es el marítimo con 47% según información de 2013, mientras el carretero se emplea en 17%, de acuerdo con datos de North American Transportation Statistics (ETAN, 2013). Debido a la cercanía y a que la mayor parte de las exportaciones mexicanas son dirigidas a EE. UU., el transporte terrestre vía carretera ha mostrado un aumento sostenido en los últimos años, a excepción del año 2009, donde el comercio exterior

se vio disminuido debido a la recesión provocada por la crisis estadounidense.

La importancia de la variable infraestructura radica en que el incremento en este rubro de cualquier economía, desarrollada o no, permite la ampliación de la operativa entre los mercados y la disminución de los costos de producción. En bastantes estudios generados desde la década de los ochenta se analiza la relación entre inversión en infraestructura y crecimiento económico, tema importante de discusión entre economistas y políticos desde entonces. Esta relación no es nueva, existen autores que han abordado esta relación y han obtenido un comportamiento positivo entre estas dos variables, así como la evidencia de que las economías cuyo gasto público en infraestructura es bajo obtienen un crecimiento económico también bajo. En países como Chile o Perú la inversión en infraestructura carretera se ha llevado a cabo de una manera constante, transparente y sobre todo cumpliendo con los tiempos pactados en el contrato; situación que no se ha impulsado en México en ninguno de los tres aspectos.

La otra variable fue el índice de precios al productor, que en el periodo analizado ha mostrado un incremento constante y lógico de acuerdo con la tendencia inflacionaria anual. Las empresas mexicanas cuyo objetivo es competir con empresas estadounidenses o canadienses hacen énfasis en la diferencia en costos y precios. En relación con la renegociación actual del TLCAN y de la predilección del mandatario actual estadounidense por los acuerdos bilaterales es importante no dejar de lado que dichas acciones han acercado comercialmente a México y China; lo anterior provocado entre otros factores por la salida de EE. UU. del Tratado de Asociación Transpacífico.

Cabe hacer referencia a que gran parte del proceso de desintegración que actualmente se vive con la renegociación del TLCAN se debe en gran medida a la cada vez más predominante presencia de China en el mercado estadounidense, no solamente por aumento de las importaciones y exportaciones entre EE. UU. y China, sino también por una fuerte presencia en el proceso manufacturero y de inversión. Lo anterior pone de manifiesto la importancia de un proceso de diversificación de mercados, además de la renegociación del TLCAN a favor de México. Es indispensable el compromiso del gobierno mexicano para apoyar a las empresas y a los hombres-camión en la capacitación de los requeri-

mientos estadounidenses, ya que después de todo, dichos requerimientos no son imposibles de cumplir, sobre todo cuando de versatilidad empresarial se trata.

## CONCLUSIONES

Después de analizar los aspectos más importantes en la operación y regulación de los tres países miembros del TLCAN, las conclusiones del presente son las siguientes:

- Las importaciones mexicanas provenientes de Canadá por medio del transporte carretero son elásticas con respecto al índice de precios al producto; es decir, dichas importaciones sí son sensibles ante las variaciones del índice de precios.
- El comportamiento de dichas importaciones se ha visto afectado de manera directa por crisis internacionales y nacionales como las de 2002 y 2009. En esta relación de variables también se observa un aumento en el consumo de las importaciones canadienses en México, situación que se observa de manera posterior a la firma del TLCAN.
- Las importaciones mexicanas de Canadá mediante el transporte carretero con respecto a la infraestructura presentan un comportamiento elástico y bastante similar entre el total de la red carretera y el número de unidades vehiculares. Es importante mencionar que dichas importaciones presentan un comportamiento positivo que se observa claramente después de la firma del TLCAN.
- Las exportaciones mexicanas a Canadá por medio del transporte carretero en relación con el índice de precios al productor de transporte de carga presenta un comportamiento elástico positivo en mayor magnitud para los años 1997, 2004, 2007 y 2009.
- Se presenta el mismo comportamiento, aunque en diferente medida, para las exportaciones de México hacia Canadá en relación con el total de la red carretera; en esta relación se obtuvo una elasticidad elástica, enfatizando justo en los mismos años que el calculado para el índice de precios.
- En relación con las exportaciones mexicanas hacia Canadá, se puede afirmar que son mucho más sensibles a la variación en el número de unidades vehiculares de carga, provocando un cambio mayor pero siguiendo la misma tendencia que la red carretera o el índice de precios.
- Por otra parte, se calcularon las elasticidades de las exportaciones mexicanas hacia EE. UU. con

respecto al índice de precios al productor, donde se obtuvo una relación elástica en su mayoría, aunque en 2001 y 2009 la relación fue negativa. De modo posterior a la firma del TLCAN sí se observa una mayor operación comercial en relación con las exportaciones mexicanas hacia EE. UU.

- Con respecto al cálculo realizado para las exportaciones mexicanas hacia EE. UU. en relación con la infraestructura, en su mayoría resultaron elasticidades positivas y con un comportamiento muy similar entre las series de datos utilizadas para representar a la infraestructura; aunque se afirma que los cambios en la red carretera provocan una mayor sensibilidad en el comportamiento de las exportaciones.
- Las elasticidades obtenidas para las importaciones mexicanas provenientes de EE. UU. con respecto al índice de precios presentan resultados sumamente variables, aunque no como consecuencia de los cambios que ha tenido el índice de precios, sino de los cambios que han surgido a través del tiempo en relación con las importaciones mexicanas originarias de EE. UU. Las importaciones mexicanas de origen estadounidense en cuanto a infraestructura son elásticas positivas con excepción de los años 2001 y 2009.
- El volumen de carga mexicana reflejó un comportamiento elástico con respecto a los cambios

del índice de precios, con un comportamiento bastante activo y variante; mientras que la misma serie de datos correspondiente al volumen de carga mexicana resultó inelástico respecto a la infraestructura; es decir, presenta muy poca o nula sensibilidad ante cambios en la red carretera y al parque vehicular.

- A grandes rasgos se puede observar que el comercio mexicano con EE. UU. y Canadá efectivamente se volvió más dinámico, lo cual puede ser visto desde un enfoque positivo o negativo, ya que como resultado la economía mexicana también se tornó dependiente de economías internacionales; la prueba se observa en la obtención de grandes variaciones positivas y negativas del comercio exterior mexicano en los años de crisis, tanto internas como externas, que van desde crisis estadounidenses hasta asiáticas. Por ello, la dependencia económica de México no radica únicamente en que la mayoría del comercio exterior sea con EE. UU., sino también a la vecindad que tiene con este país. No obstante, dados los cambios que se aproximan con la renegociación del TLCAN y el constante incremento del comercio de EE. UU. con China, cabe esperar una disminución del flujo comercial con México, el cual no necesariamente percibirá un efecto negativo si comienza a diversificar su comercio exterior.

**REFERENCIAS**

- Alto Nivel (2016). [Fotografía]. Recuperada de <https://www.altonivel.com.mx/como-los-seguros-pueden-bajar-el-robo-al-transporte-de-carga-56829/>
- Arvis, J. F., Alina Mustra, M., Panzer, J., Ojala, L., & Naula, T. (2007). *Connecting to compete 2007-Trade Logistics in the Global Economy-The Logistics Performance Index and its indicators*. Washington, DC: World Bank.
- Aschauer, D. (1989). Public investment and productivity growth in the Group of Seven. *Economic Perspectives*, 13(5), 17-25.
- Cipoletta Tomassian, C., Pérez Salas, G., & Sánchez, R. J. (2010). *Políticas integradas de infraestructura, transporte y logística: Experiencias internacionales y propuestas iniciales*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Coase, R. H. (1988). *The firm, the market and the law*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Cullen, D. (14 de diciembre de 2015). Trucking inside Mexico. *HDT Trucking info* [Nota de periódico electrónico]. Recuperado de [www.truckinginfo.com](http://www.truckinginfo.com)
- Daniels, J. D., Radebaugh, L. H., & Sullivan, D. P. (2010). *Negocios internacionales-Ambientes y operaciones*. México: Pearson.
- Dorta González, P. (2013). *Transporte y logística internacional*. Las Palmas, Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Dussel Peters, E. (2008). Los costos de transporte en las exportaciones mexicanas (Int working paper 13). En M. Mesquita Moreira, C. Bolpe, & J. S. Blyde (Autores), *Destrabando las arterias: El impacto de los costos de transporte en el comercio de América Latina y el Caribe*. Cambridge: Banco Interamericano de Desarrollo-Centro de Estudios Latinoamericanos David Rockefeller, Harvard University.
- Estadísticas de Transporte de América del Norte. (2013). Parque Vehicular [Base de datos]. Recuperado el 13 de noviembre de 2014, de <http://nats.sct.gob.mx/ir-a-las-tablas-2/tabla-12-parque-vehicular/tabla-12-1-numero-de-vehiculosequipo-de-transporte/>
- García-Milà, T., & McGuire, T. J. (1992). The contribution of publicly provided inputs to states' economies. *Regional Science and Urban Economics*, 22, 229-241.
- Gómez Leyja, M. S., & Hernández Rodríguez, S. C. (1995). *Introducción a la economía: Un enfoque aplicado*. Edo. de México: McGraw-Hill.
- Government of Canada. (28 de abril de 2016). Fuel efficiency benchmarking in Canada's trucking industry. Recuperado el 31 de diciembre de 2016, de [www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/transportation/commercial-vehicles/reports/7607](http://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/transportation/commercial-vehicles/reports/7607)
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría*. México: McGraw-Hill.
- Harrington, L. (1 de enero de 2013). U. S. Mexico Trade: Two-way traffic. *Inbound Logistics*. Recuperado de <http://www.inboundlogistics.com/cms/article/us-mexico-trade-two-way-traffic/>
- IMT. (12 de febrero de 2015). Cómo calcular tarifas de auto-transporte de carga. *Transporte. MX. El portal del transporte mexicano* [Boletín electrónico]. Recuperado de <http://www.transporte.mx/como-calcular-tarifas-de-autotransporte-de-carga/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2012). Importaciones y exportaciones según modo de transporte, transporte carretero. Banco de Información Económica [Base de datos]. Recuperado el 1 de abril de 2013, de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserPadre=11000380001000100030>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013). Importaciones y exportaciones según modo de transporte, transporte carretero. Banco de Información Económica [Base de datos]. Recuperado el 1 de enero de 2014, de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserPadre=11000380>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). Balanza comercial de mercancías por países y zonas geográficas. Banco de Información Económica [Base de datos]. Recuperado el 1 de enero de 2016, de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserPadre=110003300050037000900100>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). Índice Nacional de Precios al Productor. Banco de Información Económica [Base de datos]. Recuperado el 4 de marzo de 2016, de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserPadre=111002100010001000100100>
- Macías Macías, A. (2003). Tipo de cambio y paridad del poder de compra en México. *Comercio Exterior*, 53(9), 820-831.
- Mahmud, S. F., Ullah, A., & Yucel, E. M. (2004). Testing Marshall-Lerner condition: A non-parametric approach. *Applied Economics Letters*, 11(4), 231-236.
- Medina Ramírez, S. (2011). Apertura fronteriza al transporte de carga mexicano: ¿Fin del problema? *Comercio Exterior*, 62(1), 9-11.
- Mendoza Cota, J. E., & Díaz, E. (2003). Obstáculos al comercio en el TLCAN: El caso del transporte de carga. *Comercio Exterior*, 53(12), 1112-1120.



- Munell, A. H. (1990). Why has productivity growth declined? Productivity and public investment. *New England Economic Review*, January/February, 3-22.
- Organización Mundial del Comercio. (2002). *Evolución del comercio mundial en 2000 y en el primer semestre de 2001* (pp. 1-20). Ginebra: Autor.
- Prud'homme, R. (2005). Infrastructure and development. En F. Bourguignon, & B. Pleskovic (Eds.), *Annual World Bank Conference on Development Economics, 2005: Lessons of experience* (pp. 153-180). Washington, DC: The World Bank-Oxford University Press.
- Ramírez, D. (29 de enero de 2015). Autotransporte, actividad con el mayor costo operativo de combustible. *Directorio de Transporte, Logística y Carga T21*. Recuperado de <http://t21.com.mx/terrestre/2015/01/29/autotransporte-actividad-mayor-costo-operativo-combustible>
- Sáez, S., & Valdés, J. G. (abril de 1999). Chile y su política comercial "lateral". *CEPAL*, 67, 81-94.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2013). Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes. En *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*. México: Gobierno de la República.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (Abril de 2014). *Título de Concesión que en Materia Ferroviaria, ha otorgado el Gobierno Federal, por Conducto de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes* [Cuadro informativo]. Recuperado de <http://gaceta.diputados.gob.mx/Gaceta/62/2014/feb/ConseFerr-20140218.pdf>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (11 de enero de 2015). *El Departamento de Transporte de los Estados Unidos anuncia su voluntad de recibir solicitudes de transportistas mexicanos para operaciones de largo recorrido* [Comunicado]. Recuperado de <http://www.sct.gob.mx/despliega-noticias/article/el-departamento-de-transporte-de-los-estados-unidos-anuncia-su-voluntad-de-recibir-solicitudes-de-tr/>
- Secretaría de Economía. (2014). *A 10 años de la entrada en vigor del TLCAN* (6 pp.) [Documento en pdf]. Recuperado de [http://www.economia-snci.gob.mx/sic\\_php/pages/sala\\_prensa/pdfs/1-1-22-040223\\_TLCANX.pdf](http://www.economia-snci.gob.mx/sic_php/pages/sala_prensa/pdfs/1-1-22-040223_TLCANX.pdf)
- Silvestre Méndez, J. (1999). *Fundamentos de economía*. México: McGraw-Hill.
- US Census Bureau. (2015). *Trade in Goods with Mexico* [Base de datos]. Recuperada de <https://www.census.gov/foreign-trade/balance/c2010.html#1994>
- US Department of Labor. (2016). *Occupational Employment Statistics* [Base de datos]. Recuperado de <http://www.bls.gov/oes/current/oes533032.htm>
- WageIndicator Foundation (2016). *Misalarario.org* [Base de datos]. Recuperado de <http://www.misalarario.org/main/tu-salario/comparatusalario>
- Wilmsmeier, G., & Sánchez, R. J. (2009). *Los desafíos del sistema de transporte en los países sin litoral de América del Sur*. Documento de trabajo 142. Santiago de Chile: CEPAL.

## El efecto de la autoeficacia y el trabajo colaborativo en estudiantes novatos de programación

### The effect of self-efficacy and peer collaboration in novice programming students

Carlos Argelio Arévalo Mercado\*✉, Estela Lizbeth Muñoz Andrade\*\*, Juan Manuel Gómez Reynoso\*\*

Arévalo Mercado, C. A., Muñoz Andrade, E. L., & Gómez Reynoso, J. M. (2018). El efecto de la autoeficacia y el trabajo colaborativo en estudiantes novatos de programación. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 73-80.

#### RESUMEN

El aprendizaje de la programación es complicado para alumnos que inician una carrera relacionada con las tecnologías de información. Se han identificado factores significativos como la experiencia previa, los modelos mentales incorrectos y la habilidad para las matemáticas, entre otros. También se ha identificado una relación estrecha entre el desempeño académico y los procesos cognitivos, metacognitivos y motivacionales. En este estudio se intentó identificar las variables motivacionales y metacognitivas que influyen en los estudiantes universitarios que inician el aprendizaje de la programación. Se utilizó el instrumento MSLQ para recolectar información de una muestra aleatoria de 110 alumnos cursando programación introductoria en la UAA. Se encontró que aunque los alumnos percibieron como importante el *valor de la tarea*, la *creencia de control* y la *orientación*

**Palabras clave:** programación; motivación; metacognición; autoeficacia; aprendizaje colaborativo.

**Keywords:** programming; motivation; metacognition; self-efficacy; collaborative learning.

Recibido: 7 de septiembre de 2017, aceptado: 28 de marzo de 2018

\* Departamento de Sistemas de Información, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad 940, Ciudad Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Correo electrónico: carlos.arevalo@edu.uaa.mx

\*\* Departamento de Sistemas Electrónicos, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad 940, Ciudad Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Correo electrónico: elmunoz@correo.uaa.mx; jmgr@correo.uaa.mx

✉ Autor para correspondencia

*intrínseca a la tarea*, el modelo de regresión lineal aplicado indicó que las variables que predicen en mayor medida el rendimiento académico fueron la *autoeficacia* y el *trabajo colaborativo*.

#### ABSTRACT

Learning to program is a difficult task for students starting a bachelor's degree related to information technology. Factors such as previous experience, mental models and mathematical skills have been identified as relevant. It has also been identified that motivation, cognitive and metacognitive processes have a close relation to academic performance. This study tried to identify significant motivational and metacognitive variables associated to academic performance in learning to program. We used the MSLQ questionnaire to collect information of a random sample of 110 first semester students of introductory programming in UAA. It was found that even though students identified variables such as *task value*, *control beliefs* and *intrinsic goal orientation* as important to them, the applied regression model indicated that *self-efficacy* and *peer collaboration* were the significant predictors of performance.

#### INTRODUCCIÓN

El aprendizaje de la programación es una habilidad básica que los estudiantes universitarios deben adquirir durante los primeros semestres de carreras relacionadas con las ciencias computacionales. La programación se relaciona directamente con la

capacidad pensar de manera abstracta y de resolver problemas creando algoritmos que se convertirán posteriormente en aplicaciones de software. Sin embargo, evidencia tanto empírica (Blackwell, 2002; Jenkins, 2002; Mow, 2008) como anecdótica (Dehnadi & Bornat, 2006; Milne & Rowe, 2002) indica que los estudiantes que inician enfrentan serias dificultades para adquirir tales habilidades.

El problema del aprendizaje de la programación ha sido extensamente estudiado desde diversas perspectivas en los últimos 20 años, tanto para entender la propia naturaleza del problema (Baldwin & Macredie, 1999; Bornat, Dehnadi, & Simon, 2008), como para proponer alternativas tecnológicas (Arévalo Mercado, Muñoz Andrade, & Gómez Reynoso, 2011; Cooper, Dann, & Pausch, 2000; Maries & Kumar, 2007) e instruccionales (Skubch & Thielscher, 2005) que busquen mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la programación.

En el ámbito de la psicología cognitiva se han estudiado variables relacionadas con los atributos de los estudiantes de programación, tales como la autoeficacia, la habilidad para las matemáticas y los modelos mentales, entre otras (Byrne & Lyons, 2001). El objetivo de estas investigaciones ha sido tratar de identificar predictores de desempeño, que a su vez permitan un diseño instruccional enfocado a las características individuales de los estudiantes. También existe una corriente importante de investigaciones asociadas al concepto de la metacognición, que se entiende como *la conciencia de los propios procesos cognitivos* (Alexander, 2008; Flavell, 1979). La metacognición se relaciona directamente con la capacidad de solución de problemas en tanto ésta permite identificar objetivos, seleccionar o corregir estrategias de solución y monitorear el avance hacia la solución.

Por otro lado, se ha encontrado que los procesos cognitivos y metacognitivos están a su vez vinculados a la variable conductual de la motivación (Mayer, 1988, 1998, 2010). La motivación como concepto ha sido estudiada con detalle en las ciencias de la conducta y en la educación. Al nivel más básico, se habla de una dicotomía en donde la motivación puede ser intrínseca (basada en realizar algo que al sujeto le es inherentemente interesante y disfrutable) o extrínseca (basada en estímulos y situaciones externas). Autores clásicos (Dewey, 1913, 1933) y modernos (Ryan & Deci, 2000; Schiefe-

le, 1991) resaltan la diferencia cualitativa que se da en el aprendizaje cuando éste se basa en el interés personal o en la coerción externa.

En el contexto cotidiano de las aulas los profesores de programación se enfocan a enseñar a los estudiantes modelos mentales y estrategias de solución de problemas (es decir, procesos cognitivos) mediante el modelo clásico *teoría-ejemplo-ejercicio* y se asume que al utilizar este modelo se obtendrán como subproducto las habilidades metacognitivas. Sin embargo, se ha encontrado que tales habilidades deben enseñarse explícitamente (Volet & Lund, 1994).

En este estudio se midió el grado de motivación de los estudiantes que inician cursos de programación en la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) y se buscaron correlaciones entre la motivación, las habilidades metacognitivas y el desempeño académico.

El objetivo general del estudio consistió en Identificar si existe una correlación entre la motivación intrínseca, la habilidad metacognitiva y el desempeño académico de los estudiantes novatos de programación de la UAA; es decir, identificar si los alumnos intrínsecamente motivados para llevar a cabo una tarea exhiben a su vez habilidades metacognitivas o si estos factores son independientes entre sí como predictores del desempeño académico en programación o, más aun, si otros son los factores que predicen mejor este desempeño.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 15 variables, obtenidas de 81 preguntas del instrumento MSLQ (Motivated Strategies for Learning Questionnaire) (Pintrich, Smith, Garcia, & McKeachie, 1991) seleccionado por su consistencia interna (Barak, Kastelan, & Azia, 2016; Dent & Koenka, 2016; Wong, Chai, Chen, & Chin, 2013) y aplicabilidad al tema de la motivación y la metacognición en el aprendizaje. La descripción operativa de estas variables (tabla 1 y tabla 2) puede encontrarse en Kuhl (2000), así como en Pintrich et al. (1991). En las conclusiones de este reporte se describen las variables que tuvieron efecto significativo en el rendimiento académico. La escala de calificación fue de tipo Likert, de un rango de 1 a 7, en donde el valor 1 se define como "No tiene en absoluto nada que ver conmigo", el valor 2 es "Me describe muy poco", el 3 corresponde a "Me describe moderadamente", el valor 4 es "No estoy seguro

Tabla 1  
Constructos relacionados con la motivación del aprendizaje

No.	Subescala	Abrev.	Ítems
1	Orientación a metas intrínsecas	Intr	1, 16, 22, 24
2	Orientación a metas extrínsecas	Extr	7, 11, 13, 30
3	Valor de la tarea	Tskv	4, 10, 17, 23, 26, 27
4	Creencia de control	Cont	2, 9, 18, 25
5	Autoeficacia para el aprendizaje	Self	5, 6, 12, 15, 20, 21, 29, 31
6	Ansiedad de examen	Tanx	3, 8, 14, 19, 28

Nota: Con datos de Pintrich et al. (1991).

Tabla 2  
Constructos relacionados con estrategias de aprendizaje

No.	Subescala	Abrev.	Ítems
7	Ensayo	Reh	39, 46, 59, 72
8	Elaboración	Elab	53, 62, 64, 67, 69, 81
9	Organización	Org	32, 42, 49, 63
10	Pensamiento crítico	Crit	38, 47, 51, 66, 71
11	Autorregulación metacognitiva	Meta	33, 36, 41, 44, 55, 56, 57, 61, 76, 78, 79
12	Tiempo y medio ambiente de estudio	Tsdy	35, 43, 52, 65, 70, 73, 77, 80
13	Regulación del esfuerzo	Eff	37, 48, 60, 74
14	Aprendizaje por pares	Peer	34, 45, 50
15	Búsqueda de ayuda	Help	40, 58, 68, 75

Nota: Con datos de Pintrich et al. (1991).

(a)", el 5 es "Me describe suficientemente", el 6 "Me describe mucho" y el 7 "Me describe totalmente".

También se incluyó la variable *calificación* (CAL) como variable dependiente, cuya definición operacional es *el rendimiento académico de los alumnos participantes durante la materia de Algoritmos y Programación*. La medición de ésta fue mediante exámenes estandarizados por la academia de programación del Departamento de Sistemas Electrónicos. En la sección de resultados puede observarse que el comportamiento de esta variable fue normal (figura 1). El estilo de enseñanza fue controlado mediante la impartición de la materia por un mismo instructor en los grupos participantes.

En los datos obtenidos en la prueba piloto (aplicada en noviembre 2015 y en mayo 2016) se detectó la necesidad de realizar ajustes al instrumento MSLQ en las subescalas de *Regulación del esfuerzo* ( $\alpha = 0.58$ , estudio noviembre 2015,

$\alpha = 0.21$ , estudio mayo 2016) y la de *Búsqueda de ayuda* ( $\alpha = 0.15$ , estudio noviembre 2015,  $\alpha = 0.42$ , estudio mayo 2016), ambas con valores inferiores a la confiabilidad indicada por la literatura (superior a 0.6). De las 15 subescalas que conforman el instrumento, las dos antes mencionadas se revisaron y su redacción fue ajustada buscando mejorar su claridad y consistencia.

Durante noviembre de 2016 se seleccionaron 140 alumnos de manera aleatoria de las carreras de Ingeniero en Sistemas Computacionales (ISC) e Ingeniero en Electrónica (IE) que cursaban la materia de Algoritmos y Programación. De los 140 alumnos seleccionados, 110 completaron la encuesta. La misma se aplicó después de su segundo examen parcial y antes del examen final, con el objetivo de que ellos fuesen capaces de identificar sus estrategias de aprendizaje durante los primeros meses del curso y el nivel de motivación hacia el final del mismo. Los valores Alfa de Cronbach resultantes

Tabla 3  
Valores Alfa de Cronbach de escala de motivación

Subescala	Clave	Alpha de Cronbach
Orientación intrínseca	Intr	0.76
Orientación extrínseca	Extr	0.70
Valor de la tarea	Tskv	0.85
Creencia de control	Cont	0.64
Autoeficacia	Slfef	0.88
Ansiedad a examen	Tanx	0.84

Nota: Elaboración propia.

Tabla 4  
Valores Alfa de Cronbach de escala de aprendizaje

Subescala	Clave	Alpha de Cronbach
Ensayo	Rhr	0.63
Elaboración	Elab	0.62
Organización	Org	0.70
Pensamiento crítico	Thk	0.62
Autorregulación metacognitiva	Meta	0.82
Tiempo y ambiente de estudio	Env	0.76
Regulación del esfuerzo	Eff	0.69
Aprendizaje colaborativo	Peer	0.67
Búsqueda de ayuda	Hlp	0.71

Nota: Elaboración propia.

de la aplicación de la encuesta se muestran en la tabla 3 y en la tabla 4. En todos los casos, los valores se consideran en el rango de confiabilidad de aceptables.

## RESULTADOS

La estadística descriptiva resultante de la aplicación de la encuesta ( $n=110$ ) se muestra en la tabla 5. La media de la variable *calificación* fue de 6.28, la cual de acuerdo a la escala de la UAA no es aprobatoria. Las subescalas con mayor valor obtenido fueron *Tskv* (5.89, *valor percibido de la tarea*), seguida de *Cont* (5.42, *Creencia de control*) e *Intr* (5.33, *Orientación intrínseca al objetivo*). Las subescalas del grupo de estrategias de aprendizaje (tabla 2) recibieron un valor menor en su conjunto, comparadas con las de la escala de motivación (tabla 1). De éstas últimas, la variable *Eff* (*regulación del esfuerzo*) fue en promedio la de mayor calificación (4.99). Puede

verse que las respuestas caen en el rango de 4 y 5; es decir, las categorías de "No estoy seguro" y "Me describe suficientemente".

Los contenidos académicos del instrumento de medición aplicado (segundo examen parcial) fueron diseñados y estandarizados por la Academia de programación del Departamento de Sistemas Electrónicos. Los temas incluyeron: estructuras de control, manejo de arreglos y construcción de funciones, de los cuales se solicitó a los alumnos la elaboración de programas sencillos. De la muestra recolectada, 44% de los participantes obtuvieron una calificación reprobatoria (48/110), lo cual es consistente con el histórico de porcentajes de reprobación de la UAA y con la literatura (Mahmoud, Dobosiewicz, & Swayne, 2004). Resulta llamativo el alto porcentaje de alumnos que obtuvieron una calificación igual o mayor a 9 (34%, 37/110).

Tabla 5  
Estadística descriptiva. Subescalas de motivación y de aprendizaje

Estadísticos descriptivos			
	Media	Desviación típica	N
CAL	6.2800	3.32853	110
INTR	5.3386	1.00320	110
EXTR	5.1818	1.13781	110
TSKV	5.8924	.93510	110
CONT	5.4295	.95130	110
SELF	5.3159	.94209	110
TANX	4.3327	1.47301	110
REH	4.4000	1.19690	110
ELAB	4.4394	.99636	110
ORG	4.1455	1.28879	110
CRIT	4.6018	.99337	110
META	4.8205	.92612	110
TSDY	4.6762	.72495	110
EFF	4.9909	.99536	110
PEER	4.2333	1.37218	110
HLP	4.3977	1.02620	110

Nota: Elaboración propia.

En lo que respecta a las subescalas de estrategias de aprendizaje (tabla 5), los alumnos otorgaron también en ambas categorías una mayor valoración en promedio a la variable *Eff* (*regulación del esfuerzo*), la cual tiene que ver con la autorregulación del esfuerzo del alumno con respecto a distractores externos y el enfoque que se da a tareas poco interesantes o laboriosas. Ésta

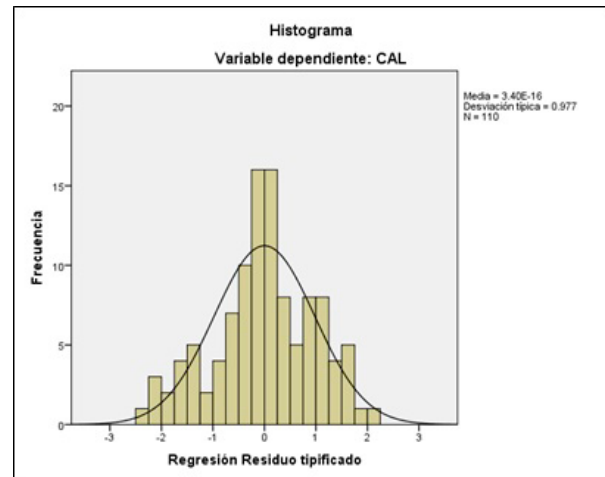


Figura 1. Comportamiento de la variable Calificación (CAL).  
Elaboración propia.

refleja el compromiso hacia los objetivos, a pesar de la dificultad de la tarea.

En la escala de aprendizaje del MSLQ, los alumnos consideraron como una de las menos importantes a la variable *Peer* (*aprendizaje por pares*). Esto es llamativo, ya que en el modelo de regresión obtenido (tabla 6) para el conjunto de casos analizados, la variable *Peer* forma parte de las variables predictoras y su valor Beta ( $\beta = 0.283$ ) es la que se interpreta como mejor predictor (aunque por un pequeño margen) del desempeño académico (variable CAL).

El modelo obtenido mediante análisis de regresión lineal (tabla 6) dio como resultado cinco

Tabla 6  
Modelo de variables predictoras de variable dependiente CAL

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Resumen del modelo <sup>f</sup>					Durbin-Watson
					Estadísticos de cambio					
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	.308 <sup>a</sup>	.095	.086	3.18147	.095	11.309	1	108	.001	
2	.405 <sup>b</sup>	.164	.148	3.07190	.069	8.842	1	107	.004	
3	.481 <sup>c</sup>	.231	.210	2.95931	.067	9.297	1	106	.003	
4	.547 <sup>d</sup>	.299	.273	2.83862	.068	10.205	1	105	.002	
5	.575 <sup>e</sup>	.330	.298	2.78905	.031	4.765	1	104	.031	1.962

- a. Variables predictoras: (Constante), TANX
- b. Variables predictoras: (Constante), TANX, PEER
- c. Variables predictoras: (Constante), TANX, PEER, EXTR
- d. Variables predictoras: (Constante), TANX, PEER, EXTR, SELF
- e. Variables predictoras: (Constante), TANX, PEER, EXTR, SELF, EFF
- f. Variable dependiente: CAL

Nota: Elaboración propia.

Tabla 7  
Detalle de coeficientes del modelo de regresión lineal

		Coeficientes <sup>a</sup>												
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95.0% para B		Correlaciones			Estadísticos de colinealidad		
		B	Error tip.	Beta			Limite inferior	Limite superior	Orden cero	Parcial	Semiparcial	Tolerancia	FV	
1	(Constante)	9.294	.946		9.822	.000	7.419	11.170						
	TANX	-.696	.207	-.308	-3.363	.001	-1.106	-.286	-.308	-.308	-.308	1.000	1.000	
2	(Constante)	7.033	1.189		5.915	.000	4.676	9.389						
	TANX	-.808	.203	-.357	-3.973	.000	-1.211	-.405	-.308	-.359	-.351	.966	1.036	
	PEER	.649	.218	.267	2.973	.004	.216	1.081	.201	.276	.263	.966	1.036	
3	(Constante)	9.683	1.438		6.735	.000	6.832	12.533						
	TANX	-.579	.210	-.256	-2.759	.007	-.994	-.163	-.308	-.259	-.235	.842	1.188	
	PEER	.847	.220	.349	3.851	.000	.411	1.284	.201	.350	.328	.881	1.135	
	EXTR	-.865	.284	-.296	-3.049	.003	-1.428	-.303	-.278	-.284	-.260	.771	1.297	
4	(Constante)	4.942	2.026		2.439	.016	.925	8.959						
	TANX	-.257	.225	-.114	-1.143	.255	-.703	.189	-.308	-.111	-.093	.673	1.485	
	PEER	.713	.215	.294	3.312	.001	.286	1.140	.201	.308	.271	.847	1.180	
	EXTR	-1.222	.294	-.418	-4.154	.000	-1.806	-.639	-.278	-.376	-.339	.660	1.516	
	SELF	1.085	.340	.307	3.195	.002	.412	1.759	.290	.298	.261	.722	1.385	
5	(Constante)	2.573	2.267		1.135	.259	-1.922	7.069						
	TANX	-.165	.225	-.073	-.735	.464	-.612	.281	-.308	-.072	-.059	.650	1.539	
	PEER	.686	.212	.283	3.237	.002	.266	1.106	.201	.303	.260	.844	1.184	
	EXTR	-1.282	.290	-.438	-4.414	.000	-1.857	-.706	-.278	-.397	-.354	.654	1.529	
	SELF	.945	.340	.267	2.781	.006	.271	1.619	.290	.263	.223	.696	1.436	
	EFF	.628	.288	.188	2.183	.031	.058	1.199	.273	.209	.175	.869	1.151	

a. Variable dependiente: CAL

Nota: Elaboración propia.

variables que predicen el comportamiento de la variable dependiente CAL: *Tanx*, *Peer*, *Extr*, *Self* y *Eff*. Las 10 variables restantes no contribuyen al comportamiento de la variable dependiente.

En la tabla 7 se muestran los coeficientes del modelo de regresión lineal, en donde se observa que de los valores Beta de las variables predictoras (renglón 5), la variable predictora con mayor aportación al modelo es *Peer* ( $\beta = 0.283$ ), seguida de *Self* ( $\beta = 0.267$ ). Las variables *Tanx* y *Extr* tienen una correlación negativa (-0.308 y -0.278, respectivamente).

## DISCUSIÓN

Dados los resultados obtenidos, se interpretan diferencias derivadas del análisis de la estadística descriptiva de las respuestas otorgadas por los participantes contra el modelo de regresión lineal. Es decir, lo que los alumnos perciben como importante para el rendimiento académico (el valor percibido de la tarea, la creencia de control y la motivación intrínseca) es diferente con respecto a las variables predictivas identificadas por el modelo (*ansiedad al examen*, *aprendizaje por pares*, *motivación extrínseca*, *autoeficacia* y *regulación del esfuerzo*). En otras palabras, lo que los alumnos creen no influye realmente en lo que obtendrán como calificación.

Es pertinente mencionar que el supuesto inicial de este estudio -esto es, que los alumnos con mayor motivación intrínseca y mejores habilidades metacognitivas serían quienes obtendrían un mejor rendimiento- no fue corroborado con los resultados obtenidos, ya que fueron las variables de *aprendizaje por pares* y la *autoeficacia* las que predicen en mayor medida el rendimiento académico (además de la *ansiedad al examen* y la *motivación extrínseca*, pero con una correlación negativa, y en menor medida la *regulación del esfuerzo*). Dicho de otra forma, en estudiantes novatos de programación *influye en mayor grado la confianza en el propio éxito y el aprendizaje colaborativo* que las habilidades metacognitivas.

Estos resultados son consistentes con estudios previos (Ramalingam, LaBelle, & Wiedenbeck, 2004; Wiedenbeck, LaBelle, & Kain, 2004) que señalan a la autoeficacia como un factor que afecta el rendimiento académico de programadores novatos, pero cabe mencionar que otros autores (Heggstad & Kanfer, 2005) proponen que la autoeficacia es solo un efecto estadístico residual de la experiencia previa de la programación (figura 2).

Finalmente, la variable *metacognitiva* (*Meta*, *autorregulación metacognitiva*, tabla 2) no fue significativa ni en la percepción de utilidad de los

participantes, ni en las correlaciones, ni en el modelo de regresión generado. Esto puede interpretarse dada la evidencia empírica de otros estudios relacionados con el tema (Azevedo & Alevén, 2013; Forbes-Riley & Litman, 2010) como una falta de desarrollo de las habilidades metacognitivas en los estudiantes de este nivel inicial de estudios.



Figura 2. Aprendizaje de la programación. Imagen tomada del portal de Facebook del Departamento de Sistemas de Información de la UAA (2014).

## CONCLUSIONES

Trabajos futuros pueden ir orientados a identificar la relevancia del componente metacognitivo en estudiantes de ciencias computacionales *después del primer año de estudios* para observar si dichas habilidades metacognitivas están más desarrolladas, ya que el componente motivacional (en la forma de autoeficacia, ansiedad al examen y motivación extrínseca) si está presente como predictor desde el inicio de sus estudios universitarios.

Intervenciones didácticas para promover la autoeficacia se pueden extraer de la propia teoría (Bandura, 1982). Un catálogo de estrategias específicas asociadas con ella puede ser material de subsecuentes artículos, pero en general se recomienda incrementar la autoeficacia buscando que la teoría y la práctica en el salón de clases no sean demasiado avanzadas para la percepción de capacidad del estudiante, el cual debe ser retado, quien es probable que se rinda si se siente abrumado. La autoeficacia del estudiante se puede aumentar promoviendo éxitos en el rendimiento al solucionar *tareas frecuentes con dificultad progresiva y marginalmente mayor*, hasta que éste tenga una percepción sólida de logros.

## REFERENCIAS

- Alexander, P. A. (2008). Why this and why now? Introduction to the special issue on metacognition, self-regulation, and self-regulated learning. *Educational Psychology Review*, 20, 369-372.
- Arévalo Mercado, A. C., Muñoz Andrade, E. L., & Gómez Reynoso, J. M. (2011). A software tool to visualize verbal protocols to enhance strategic and metacognitive abilities in basic programming. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 5(3), 12-19.
- Azevedo, R., & Alevén, V. (Eds.). (2013). Overview of current interdisciplinary research. En *Metacognition and learning technologies* (pp. 1-16). New York: Springer International Handbooks of Education.
- Baldwin, L. P., & Macredie, R. D. (1999). Beginners and programming: Insights from second language learning and teaching. *Education and Information Technologies*, 4(2), 167-179.
- Bandura, A. (1982). Self-efficacy mechanism in human agency. *American Psychologist*, 37(2), 122-147.
- Barak, M., Kastelan, I., & Azia, Z. (2016). Exploring aspects of self-regulated learning among engineering students learning digital system design in the FPGA environment—methodology and findings. En R. Szewczyk, I. Kaštelan, M. Temerinac, M. Barak, & V. Sruk (Eds.), *Embedded Engineering Education* (pp. 139-160). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-27540-6\_10
- Blackwell, A. F. (2002). First steps in programming: A Rationale for attention investment models. *Proceedings IEEE 2002 Symposium on Human Centric Computing Languages and Environments, HCC 2002*, 2-10.
- Bornat, R., Dehnadi, S., & Simon. (2008). Mental models, consistency and programming aptitude. *Proc. Tenth Australasian Computing Education Conference, ACE 2008*, 53-62.
- Byrne, P., & Lyons, G. (2001). The effect of student attributes on success in programming. *ACM SIGCSE Bulletin*, 33(3), 49-52.
- Cooper, S., Dann, W., & Pausch, R. (2000). Alice: A 3D tool for introductory programming concepts. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 15(5), 107-116.
- Dehnadi, S., & Bornat, R. (2006). *The camel has two humps (working title)* (pp. 1-21). London: Middlesex University. Recuperado de <http://www.eis.mdx.ac.uk/research/PhDArea/saeed/paper1.pdf>



- Dent, A. L., & Koenka, A. C. (2016). The relation between self-regulated learning and academic achievement across childhood and adolescence: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 28(3), 425-474. doi: 10.1007/s10648-015-9320-8
- Departamento de Sistemas de Información UAA. (18 de febrero de 2014). [Foto del perfil en Facebook]. Recuperada de [https://scontent.fntr4-1.fna.fbcdn.net/v/t31.0-8/1796885\\_1405880379669853\\_144507141\\_o.jpg?\\_nc\\_cat=0&oh=1f68b05a6d1b8dd2afc2c9fd67c6f6d1&oe=5B9347F0](https://scontent.fntr4-1.fna.fbcdn.net/v/t31.0-8/1796885_1405880379669853_144507141_o.jpg?_nc_cat=0&oh=1f68b05a6d1b8dd2afc2c9fd67c6f6d1&oe=5B9347F0)
- Dewey, J. (1913). *Interest and effort in education*. Boston: Riverside.
- \_\_\_\_\_ (1933). *How we think. A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process*. Boston, MA: D. C. Heath. Brilliant.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906-911.
- Forbes-Riley, K., & Litman, D. (2010). Metacognition and learning in spoken dialogue computer tutoring. En *Intelligent tutoring systems* (pp. 379-388). Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag.
- Heggstad, E. D., & Kanfer, R. (2005). The predictive validity of self-efficacy in training performance: Little More than past performance. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 11(2), 84-97. doi: 10.1037/1076-898X.11.2.84
- Jenkins, T. (2002). *On the difficulty of learning to program*. Loughborough, Leicestershire, UK: Loughborough University.
- Kuhl, J. (2000). A functional-design approach to motivation and self-regulation: The dynamics of personality systems and interactions. En M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 111-169). San Diego, CA, US: Academic Press.
- Mahmoud, Q. H., Dobosiewicz, W., & Swayne, D. (2004). Making computer programming fun and accessible. *Computer*, 37(2), 106-108. doi: 10.1109/MC.2004.1266305
- Maries, A., & Kumar, A. (2007). Concept maps in intelligent tutors for programming. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 22(3), 54.
- Mayer, R. E. (1988). The psychology of how novices learn computer programming. En E. Soloway, & J. C. Spohrer (Eds.), *Studying the novice programmer* (pp. 129-159). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- \_\_\_\_\_ (1998). Cognitive, metacognitive, and motivational aspects of problem solving. *Instructional Science*, 26(1-2), 49-63.
- \_\_\_\_\_ (2010). *Applying the science of learning*. Pearson.
- Milne, I., & Rowe, G. (2002). Difficulties in learning and teaching programming-views of students and tutors. *Education and Information Technologies*, 7(1), 55-66.
- Mow, I. T. C. (2008). Issues and difficulties in teaching novice computer programming. *Innovative Techniques in Instruction Technology, E-learning, E-assessment, and Education*, 199-204.
- Pintrich, P. R., Smith, D. A. F., Garcia, T., & McKeachie, W. J. (1991). *A manual for the use of the motivated strategies for learning questionnaire (MSLQ)* [Documento en pdf]. Ann Arbor, MI: The University of Michigan. Recuperado de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED338122.pdf>
- Ramalingam, V. L., La Belle, D., & Wiedenbeck, S. (2004). Self-efficacy and mental models in learning to program. *ITICSE '04 Proceedings of the 9th Annual SIGCSE Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, UK, 2004*, 171-175. doi: 10.1145/1007996.1008042
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54-67.
- Schiefele, U. (1991). Interest, learning, and motivation. *Educational Psychologist*, 26(3-4), 299-323.
- Skubch, H., & Thielscher, M. (2005). Strategy Learning for Reasoning Agents. En J. Gama, R. Camacho, P. Brazdil, A. Jorge, & L. Torgo (Eds.), *Machine Learning: ECML 2005* (pp. 733-740). Berlin-Heidelberg: Springer.
- Volet, S. E., & Lund, C. P. (1994). Metacognitive instruction in introductory computer programming: A better explanatory construct for performance than traditional factors. *Journal of Educational Computing Research*, 10(4), 297-328.
- Wiedenbeck, S., LaBelle, D., & Kain, V. N. R. (2004). Factors affecting course outcomes in introductory programming. En E. Dunican, & T. R. G. Green (Eds.), *Proceedings of the Psychology of Programming Interest Group 16* (pp. 97-110). Ireland: PPIG.
- Wong, L.-H., Chai, C.-S., Chen, W., & Chin, C.-K. (2013). Measuring singaporean students' motivation and strategies of bilingual learning. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 22(3), 263-272. doi: 10.1007/s40299-012-0032-2

## Efectos negativos de la radiación ionizante empleada en diagnóstico odontológico

### Negative effects of ionizing radiation used in dental diagnosis



Deyanira Serrato\*, Renato Nieto-Aguilar\*✉, Asdrúbal Aguilera-Méndez\*\*

Serrato, D., Nieto-Aguilar, R., & Aguilera-Méndez, A. (2018). Efectos negativos de la radiación ionizante empleada en diagnóstico odontológico. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 81-87.

#### RESUMEN

La labilidad del componente celular humano, bajo efecto de radiación ionizante (RI), involucra cambios alterados celulares y subcelulares en el organismo, sobre todo en células en reproducción continua y menor grado de diferenciación. El potencial carcinogénico, mutagénico y genotóxico de la RI es explicado en esta revisión. Se clarifican los efectos de la exposición a RI a dosis inadecuadas en el área odontológica, y a nivel molecular, celular y orgánico; los mecanismos que accionan el posible daño, las alternativas para el control de absorción, la justificación para su uso como medio de diagnóstico dental a nivel pediátrico y adulto, y las tecnologías emisoras de radiación en odontología. La naturaleza nociva pero necesaria de la radiación en el medio dental podría concientizar a instituciones de salud dental, a su personal y a los pacientes involucrados, a cumplir y hacer cumplir las medidas de control

**Palabras clave:** radiación ionizante; radio sensibilización; radiología dental; rayos X.

**Keywords:** ionizing radiation; radio sensitization; dental radiology; X-rays.

Recibido: 16 de agosto de 2017, aceptado: 14 de marzo de 2018

\* Facultad de Odontología, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. San Juanito Itzicuaro km. 5, Colonia Arboledas Valladolid, C. P. 58330, Morelia, Michoacán, México. Correo electrónico: gelato.serrato@yahoo.com.mx; nieto.renato@gmail.com

\*\* Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. Francisco J. Múgica s/n, Edificio B-1 planta baja, Colonia Felicitas del Río, Ciudad Universitaria, C. P. 58030, Morelia, Michoacán, México. Correo electrónico: asdruaguilera@yahoo.com.mx

✉ Autor para correspondencia

durante procedimientos clínicos dentales que la emplean.

#### ABSTRACT

The lability of the human cellular component, under the effect of ionizing radiation (IR), involves altered cellular and sub-cellular changes in the organism, especially in cells in continuous reproduction, and lower degree of differentiation. The carcinogenic, mutagenic and genotoxic potential of IR is explained in this review. The effects of exposure to IR are clarified, when inadequate doses are exposed in dentistry at the molecular, cellular and organic levels. Also explains the mechanisms which trigger possible damage, alternatives for the control of absorption, and the validation for its use as a means of dental diagnosis at pediatric and adult stages, and finally, it exposes radiation emitting technologies in dentistry. The harmful but necessary nature of the radiation at the dental environment, could raise awareness of dental health institutions, their staff and involved patients, to comply with and to enforce control measures during dental clinical procedures which use IR.

#### INTRODUCCIÓN

##### Radiación en general

La radiación consiste en la emisión, propagación y transferencia de energía de algún medio a otro, en forma de ondas o partículas del campo electromagnético. En el ser humano, esta energía en forma de ondas se absorbe durante toda la vida, y es de tipo acumulativo. La exposición y absorción a la energía radiante puede ser cuantificada en niveles, lo que ocasionará o no, para determinado nivel, cambios

altamente perceptibles en las funciones orgánicas. Básicamente, el nivel depende directamente de la frecuencia, que como regla general presenta que cuanto más alta es (longitudes de onda más cortas) posee mayor poder de penetración.

Las fuentes de radiación se dividen principalmente en las de tipo no ionizante y las ionizantes. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), las primeras son radiaciones compuestas por cuantos de luz *sin energía suficiente para romper los enlaces moleculares*. Por otro lado, las segundas desprenden ondas electromagnéticas que transportan tanta energía por cuanto de luz, que *son capaces de romper los enlaces entre las moléculas*. Algunos ejemplos de la radiación no ionizante incluyen a las ondas de radio, microondas, rayos infrarrojos, luz visible, electricidad e inclusive una pequeña parte de los rayos ultravioleta. Las radiaciones ionizantes en su caso involucran a los rayos gamma que emiten los materiales radioactivos, los rayos cósmicos y los rayos X (figuras 1 y 2).

De las radiaciones emitidas dentro de la naturaleza se encuentran, entre otras, la radiación cósmica, así como la radioactividad debajo de la tierra. Por otro lado, las radiaciones artificiales comprenden desde las generadas en los relojes simples, en antenas, incluso en aparatos de televisión, y desde las utilizados más frecuentemente de manera actual: las pantallas de computadoras y teléfonos celulares (Hayflick & Moorhead, 1961; Jacobson, 1952; Shao, Luo, & Zhou, 2014). La radiación que emite este *hardware tecnológico* ha demostrado ser perjudicial en mayor o menor medida, que es directamente proporcional al tipo de fuente generadora. En este contexto, el ser humano recibe a lo largo de su existencia radiación artificial ionizante por fuentes generadoras de rayos X, que es necesaria para el diagnóstico médico y dental por imagen.

Dada la importancia del empleo de dicha radiación en el área dental y debido a que ha permitido la visibilidad de estructuras y ultraestructuras anatómicas densas, su empleo ha beneficiado al conocimiento y entendimiento patológico de tejidos no visibles por inspección simple. Sin embargo, y debido a que este tipo radiación (RI) puede causar alteraciones orgánicas en diferente grado, la presente revisión tiene como objetivo exponer su estado actual en el área odontológica, precisando el mecanismo de acción sobre órganos, tejidos, células y componentes celulares; su efecto nocivo so-

bre los mismos y, por último, evidencia las directrices para su empleo más apropiado en técnicas radiográficas bucodentales. Los criterios de inclusión de esta revisión contemplaron estudios aleatorios, que pretendían conocer los efectos de la exposición a la RI en odontología. La búsqueda se realizó en la plataforma de datos de PUBMED, sin límite de periodo de tiempo y se utilizaron las palabras clave: ionizing radiation, radio sensitization, dental radiology, X-rays.

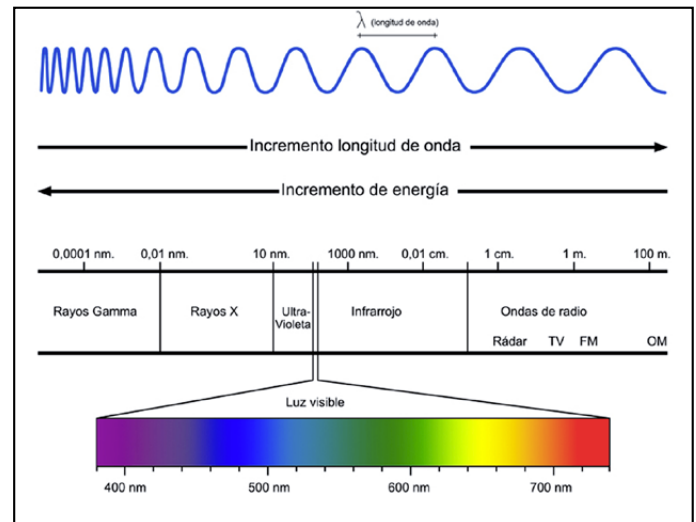


Figura 1. Esquema que muestra la relación inversa entre el incremento de la longitud de onda y el incremento de energía en el espectro electromagnético. Las ondas electromagnéticas de baja frecuencia se denominan campos electromagnéticos, y las de muy alta frecuencia radiaciones electromagnéticas. Según sea su frecuencia y energía, las ondas electromagnéticas pueden clasificarse en radiaciones ionizantes o radiaciones no ionizantes.

Imagen tomada de Blog Termografía (2015).

### Mecanismo de la radiación ionizante X sobre proteínas y las matrices intra y extracelulares

En el caso de la radiación por rayos X la acción de sus fotones puede generar en el componente tisular cambios anormales en sus elementos químicos, como es el caso particular del agua localizada dentro y fuera de la célula, que puede ser convertida en dióxido. Este compuesto ha sido considerado un veneno celular; sin embargo, la propia homeostasis celular lo inactiva bajo ciertos grados radiantes moderados y leves. La energía radiante puede afectar la estructura molecular de una amplia gama de proteínas incluyendo: enzimas, inhibidores, hormonas, etc. Dicha alteración ocasiona la ineficacia en la función precisa de cada una de ellas, lo que derivada del desequilibrio parcial o total molecular (Hall & Giaccia, 2006). De esta



Figura 2. Esquema ilustrativo de fuentes de radiación conocidas y su relación con la frecuencia en el campo electromagnético. Imagen tomada de Organización Mundial de la Salud (s. f.).

manera, cualesquier tipo de frecuencia radiante, aun escasa, produce cambios importantes en las estructuras de las células y de la matriz extracelular, que derivan de señalizaciones alteradas dentro y fuera de las células. En este tenor, para las células menos diferenciadas las alteraciones pueden ser más fáciles de ocurrir, ya que son las más radiosensibles (Buonanno, De Toledo, & Azzam, 2011).

**Radiación ionizante y cáncer**

La radiación ionizante es bien conocida como un agente carcinógeno para los seres humanos. Las alteraciones cromosómicas y la formación de micronúcleos en el citoplasma de la célula son evidencia biológica precoz de la carcinogénesis (Waingade & Medikeri, 2012). La variación en la capacidad de reparación en los fragmentos de información genética ante las radiaciones puede influir en la capacidad de reparación ultraestructural del ADN, lo que origina riesgos para generar cáncer (Cho et al., 2009). Cuando es el caso, las vías principales de reparación del ADN implican a varios mecanismos: el primero involucra a la *reparación por escisión* (BER) (Svilar, Goellner, Almeida, & Sobol, 2011; Wilson, Kim, Berquist, & Sigurdson, 2011); el segundo, a la *reparación por escisión de nucleótidos* (NER) (Vermeulen, 2011); el tercero, al desajuste de reparación (Jiricny, 2006); el cuarto, a la *unión de extremos no homólogos* (NHEJ) y, por último, el correspondiente a la *reparación de recombinación homóloga* (HRR) (Holthausen, Wyman, & Kanaar, 2010; Kass & Jasin, 2010).

Sin embargo, no todas las células presentan eficiencia para autorrepararse, y menos en acumulación de altas dosis de radiación, incluso en las células con un grado de diferenciación alto (Adams, Hawkins, Povirk, & Valerie, 2010; Fung & Weinstock, 2011; Luo et al., 2012; Maynard et al., 2008). De hecho, las células en cultivo han mostrado ser radiosensibles en diferentes grados. Algunos efectos importantes reportados en estas células incluyen, en primera instancia, daño al código genético, merma en la capacidad de reproductiva de la célula y, por último, su muerte. Estos eventos involucran de forma final una alteración directa sobre las futuras copias de la célula (figura 3).

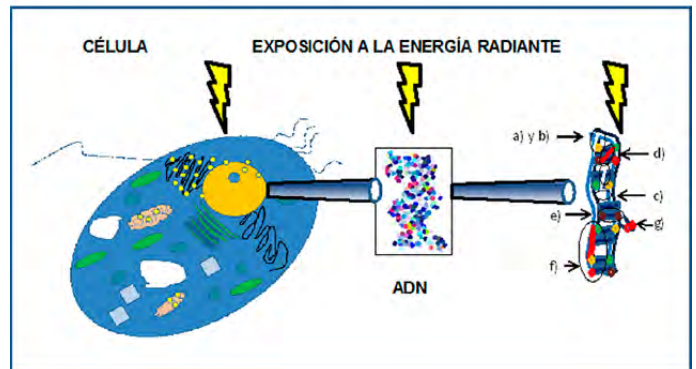


Figura 3. Lesiones en ADN inducidas por RI: a) rompimiento de puentes de hidrógeno; b) rompimiento de la cadena helicoidal única o doble; c) pérdida de bases; d) uniones cruzadas ADN-ADN; e) cambio de bases; f) uniones cruzadas entre proteína y ADN; g) dímero de bases pirimidínicas. Figura elaborada por Renato Nieto-Aguilar.

### Radiación ionizante para diagnóstico en centros de salud

El uso de radiación ionizante a través de rayos X para el diagnóstico por imagen en los sistemas de salud se ha incrementado y perfeccionado en los últimos años. Ello incluye bajas exposiciones a radiación con análisis más precisos e imágenes nítidas, conversiones de imagen en caso necesario, y mediciones con software digital integrado a la imagen radiográfica digital. Sin embargo, en casos específicos, algunos pacientes requieren de un número alto de exposiciones o estudios radiográficos a frecuencias más altas. Desafortunadamente, en estos casos el factor riesgo puede incrementarse, lo que a su vez puede involucrar efectos adversos sobre los tejidos expuestos. Entre otros, se incluye el carcinoma, tanto en pacientes como en personal clínico (Lee et al., 2016; Praveen, Shubhasini, Bhanushree, Sumsum, & Sushma, 2013; White & Mallya, 2012; White & Pharoah, 2009). A este respecto, Memon, Godward, Williams, Siddique y Al-Saleh (2010) llevaron a cabo un estudio acerca del riesgo de cáncer de tiroides derivado de una exposición con radiación ionizante por rayos X.

El estudio fue debatido ampliamente, y se concluyó que la optimización de la dosis en la radiografía dental debe ser abordada con urgencia. Las evidencias existentes de respuesta, que presentan las células de estirpes bucodentales, como las células troncales del ligamento periodontal, y pulpa aisladas y cultivadas bajo radiación ionizante (de 2 a 20Gy) mostraron alteraciones en la estructura de su ADN, lo que redundó en alteraciones del ciclo celular (Cmielova et al., 2013). Derivada de lo anterior es la tecnología que maneja radiación ionizante, la que a su vez puede controlar en parte ciertos efectos adversos de la RI. Por ello dicha tecnología será expuesta a continuación de manera amplia.

### Tecnologías en radiación ionizante aplicadas a odontología

La tecnología utilizada en las ciencias dentales para el aprovechamiento de la radiación ionizante ha mostrado un desarrollo impresionante en los últimos años, gracias a la aplicación digital sobre la imagen radiográfica por los rayos X. Sin embargo, al momento actual aún existen contradicciones acerca del tipo de radiografía a utilizar, al momento de llevar a cabo un diagnóstico. Algunos investigadores coinciden en que la radiografía panorámica debe utilizarse ampliamente para complementar el examen clínico, ya que es menos perjudicial que la

realización de varias radiografías de tipo periapical (Cerqueira et al., 2004; White & Pharoah, 2004).

Sin embargo, en un estudio realizado por Waingade y Medikeri (2012) se demostró que la radiografía panorámica puede inducir efectos genotóxicos en células epiteliales bucales y, por tanto, se debe tener en cuenta este riesgo, al extremar precauciones. En un estudio realizado en una población india se evidenció que incluso los niveles bajos de exposición a la radiación asociada con la radiografía panorámica puede ocasionar cambios genéticos en las células que se exponen a este tipo de radiación, independientemente del tiempo y de la dosis a la cual son expuestas (Waingade & Medikeri, 2012).

Otros investigadores mencionan que la dosis total de exposición con la *tomografía de haz cónico dental computarizada* (CBCT), relativamente más baja que la de la *tomografía computarizada*, sigue siendo considerablemente más alta que la correspondiente a la radiografía dental convencional (Lee et al., 2016; Loubele et al., 2009; Roberts, Drage, Davies, & Thomas, 2009). Más aun, se reporta que es preciso conocer los diferentes modelos de CBCT al tomar diferentes *campos de visión* (FOV), debido a que la dosis de radiación variará entre ellos. Roberts et al. (2009) midieron la dosis absorbida de tres diferentes modelos de CBCT, a completo campo de visión. El resultado fue sorprendentemente variable, ya que involucró de 2,5 mGy a 32,7 mGy; por tanto, la evaluación de dosis de radiación en la odontología se ha convertido en un verdadero reto para científicos y tecnólogos, que han manifestado la necesidad de reducir las dosis de radiación en el diagnóstico por imagen.

### Reducción y control de radiación ionizante en procedimientos odontológicos

Los principios de la protección radiológica sugeridos por la *Comisión Internacional de Protección Radiológica* (ICRP) consisten en la justificación, optimización y limitación de la dosis individual. En virtud de estos principios la limitación de la dosis en la medicina no está especificada por estas regulaciones (Hart, Hillier, & Wall, 2009). Para el caso de odontología tampoco existe alguna limitación en muchos países, que sin embargo es requerida. En 2006 la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) puso en marcha un proyecto de una tarjeta inteligente, destinada a desarrollar un sistema para el seguimiento de la dosis de radiación en cada individuo. La reunión de la OIEA en 2013 indicó que el

seguimiento de la dosis de cada paciente con una tarjeta inteligente se ha implementado en Estonia, Finlandia, Malta y Suecia.

Por otro lado, Argelia, Bulgaria, Egipto, Macedonia, Países Bajos, Rumania, Corea del Sur y España están trabajando actualmente en la construcción de un sistema de dicho tipo, que desafortunadamente no ha mostrado el avance obtenido hasta el momento actual (Henriques, 2013). Es de resaltar que un estudio que evaluaba la radiación emitida por 79 unidades de rayos X, utilizada en clínicas dentales de Varsovia con control de radiación, encontró que 30.4% de los pacientes recibe hasta 10 veces más radiación ionizante, lo que sobrepasa la referencia emitida por la legislación polaca (Bekas & Pachocki, 2013; Rehani y Berris, 2013). Asimismo, encuestaron a 40 países en cuanto a la disponibilidad de fijar un número de identificación para el paciente con un sistema de seguimiento de dosis de radiación. En 2015 Rehani cristaliza dicha propuesta informando de la disponibilidad de un sistema de *identificación del paciente* (ID) interconectado a todos los hospitales, que haría posible la construcción de un sistema de seguimiento de dosis para todo el mundo.

### Justificación de dosis de radiación sobre el ser humano

El control de la RI en los gabinetes odontológicos y en las clínicas de atención dental podría ser factible al reducir de forma efectiva el número de estudios radiográficos, la película a utilizarse, los reactivos reveladores, la energía disponible para el análisis



Figura 4. Fotografía de una radiografía dental periapical con claridad y nitidez. Se controlaron los factores que pueden ser negativos al paciente por la radiación ionizante, que desprende el aparato de rayos X.

Fotografía tomada por el equipo de investigación.

radiográfico y la dosis de una exposición de radiación baja con una alta definición de análisis digital, que permita incluso a las dosis bajas incrementar la calidad de la imagen (Hellén-Halme & Nilsson, 2013; Shin et al., 2014). Estos aspectos deben individualizarse (figura 4) con respecto a las necesidades únicas de cada paciente y, por tanto, la precisión de una historia clínica detallada y un examen clínico preciso se consideran la base de la encomienda (Kim & Mupparapu, 2009). A este respecto se sugiere tomar medidas precautorias específicas para la exposición de la radiación sobre pacientes pediátricos, ya que para ellos representa un riesgo potencial mayor que para los adultos.

Las medidas precautorias de exposición a la RI en pacientes de menor masa corporal se acotan a continuación.

$$D = \frac{E \text{ Absorbida}}{m}$$

D= dosis absorbida

E absorbida= energía promedio absorbida por el medio

m= masa del medio que absorbió la energía (Medina Gironzini, 2014).

La explicación a la fórmula de la <energía promedio absorbida por unidad de masa del medio absorbedor> pone de manifiesto que a un menor tamaño corporal traducido generalmente a una masa corporal menor (como es el caso de los pacientes pediátricos) la dosis de radiación es mayor que en la de un adulto. Con lo anterior se han tomado medidas precautorias específicas para la exposición de bebés y niños a rayos X. Las mismas incluyen blindaje de protección, como el uso de protectores a base de plomo. Por ejemplo: mandiles y protectores para cuello de plomo, colimadores en el aparato propiamente dicho, filtros para aumento de voltaje con disminución de tiempos de exposición, control automático de exposición y capacitación del personal que realiza la exposición para optimizar las condiciones del área operatoria. Se incluyen técnicas de inmovilización para la zona que recibe la exposición de tipo no agresivo, técnicas de intensificación de imagen como la utilización de chasis plástico y colimadores externos adecuados al caso (International Atomic Energy Agency, 2013; Kohn et al., 1996).

La exposición a la radiación se acumula en las células de los niños a lo largo de su vida y cualquier falla o escasa consciencia podría derivar en dosis de radiación más altas de lo necesario, si los ajustes de exposición no son considerados en relación con el tamaño corporal pequeño y madurez tisular (SEDEXCT Guideline Development Panel, 2012; Shin et al., 2014). Se ha reportado que el riesgo de exposición a RI en pacientes menores de 10 años es tres veces mayor que a la edad de 30 años (SEDEXCT Guideline Development Panel, 2012). Por tanto, ha sido justificable la solicitud de las organizaciones e institutos incluyentes sobre el control de la RI que debería evitarse sobre cualquier ser humano y de cualquier edad o condición (American College Of Radiology, s. f.; Sonawane, Sunil Kumar, Singh, & Pradhan, 2011).

## CONCLUSIONES

La revisión en la literatura del estado actual de la radiación ionizante y, de forma precisa, la referente a la radiación dental con rayos X, pone de manifiesto que:

- El potencial de daño celular debido a la exposición de energía radiante por rayos X en odontología existe y es inevitable.
- El diagnóstico por imagen, sin duda invaluable, debe ejercerse de manera controlada. La radiación por rayos X puede disminuirse a niveles realmente bajos mediante la tecnología digital para corrección de imagen. Por último, las normas gubernamentales sobre la radiación por rayos X en constante revisión deberán apearse a nuevas directrices para el control de radiación en el contexto internacional mediante tecnología, técnica radiográfica y conocimiento del cirujano dentista.

## REFERENCIAS

- Adams, B. R., Hawkins, A. J., Povirk, L. F., & Valerie, K. (2010). ATM-independent, high-fidelity nonhomologous end joining predominates in human embryonic stem cells. *Aging (Albany NY)*, 2(9), 582-596.
- Aliada contra el cáncer. (García B.). (2013). Recuperado de <https://es.slideshare.net>
- American College of Radiology. (s. f.). ACR appropriateness criteria, 2013 [Portal electrónico]. Recuperado de <http://www.acr.org/Quality-Safety/Appropriateness-Criteria>
- Bekas, M., & Pachocki, K. A. (2013). The dose received by patients during dental X-ray examination and the technical condition of radiological equipment. *Medycyna Pracy*, 64(6), 755-759.
- Blog Termografía. (3 de noviembre de 2015). Qué es el espectro electromagnético [Imagen ilustrativa de entrada de blog]. Recuperada de <http://blogtermografia.com/que-es-el-espectro-electromagnetico/>
- Buonanno, M., De Toledo, S. M., & Azzam, E. I. (2011). Increased frequency of spontaneous neoplastic transformation in progeny of bystander cells from cultures exposed to densely-ionizing radiation. *PLoS One*, 6(6), e21540. doi: 10.1371/journal.pone.0021540
- Cerqueira, E. M., Gomes-Filho I. S., Trindade, S., Lopes M. A., Passos, J. S., & Machado-Santelli, G. M. (2004). Genetic damage in exfoliated cells from oral mucosa of individuals exposed to X-rays during panoramic dental radiographies. *Mutation Research*, 562(1-2), 111-117.
- Cho, Y. H., Kim, Y. J., An, Y. S., Woo, H. D., Choi, S. Y., Kang, C. M., & Chung, H. W. (2009). Micronucleus-centromere assay and DNA repair gene polymorphism in lymphocytes of industrial radiographers. *Mutation Research*, 680(1-2), 17-24.
- Cmielova, J., Havelek, R., Kohlerova, R., Soukup, T., Bruckova, L., Suchanek, J., ..., Rezacova, M. (2013). The effect of ATM kinase inhibition on the initial response of human dental pulp and periodontal ligament mesenchymal stem cells to ionizing radiation. *International Journal of Radiation Biology*, 89(7), 501-511.
- Fung, H., & Weinstock, D. M. (2011). Repair at single targeted DNA double-strand breaks in pluripotent and differentiated human cells. *PLoS One*, 6(5), e20514. doi: 10.1371/journal.pone.0020514
- Hart, D., Hillier, M. C., & Wall, B. F. (2009). National reference doses for common radiographic, fluoroscopic and dental X-ray examinations in the UK. *The British Journal of Radiology*, 82(973), 1-12.
- Hall, E. J., & Giaccia, A. J. (2006). *Radiobiology for the radiologist* (6a. ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Hayflick, L., & Moorhead, P. S. (1961). The serial cultivation of human diploid cell strains. *Experimental Cell Research*, 25(3), 585-621.
- Hellén-Halme, K., & Nilsson, M. (2013). The effects on absorbed dose distribution in intraoral X-ray imaging when using tube voltages of 60 and 70 kV for bitewing imaging. *Journal of Oral and Maxillofacial Research*, 4(3), e2. doi: 10.5037/jomr.2013.4302

- Henriques, S. (2013). *A new way of thinking about patient radiation exposure* [Informe electrónico]. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Holthausen, J. T., Wyman, C., & Kanaar, R. (2010). Regulation of DNA strand exchange in homologous recombination. *DNA Repair*, 9(12), 1264-1272.
- International Atomic Energy Agency. (2013). X-rays-what patients need to know [Página informativa]. Recuperada de <https://www.iaea.org/resources/rpop/patients-and-public/x-rays>
- Jacobson, L. O. (1952). Evidence for a humoral factor (or factors) concerned in recovery from radiation injury: A review. *Cancer Research*, 12(5), 315-325.
- Jiricny, J. (2006). The multifaceted mismatch-repair system. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 7(5), 335-346.
- Kass, E. M., & Jasin, M. (2010). Collaboration and competition between DNA double-strand break repair pathways. *FEBS Letters*, 584(17), 3703-3708.
- Kim, I. H., & Mupparapu, M. (2009). Dental radiographic guidelines: A review. *Quintessence International (Berlin, Germany: 1985)*, 40(5), 389-398.
- Kohn, M. M., Moores, B. M., Schibilla, H., Schneider, K., Stender, H. St., Stieve, F. E., ..., & Wall, B. (Eds.). (1996). *European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics*. Luxembourg: European Commission.
- Lee, C., Lee, S. S., Kim, J. E., Symkhampha, K., Lee, W. J., Huh, K. H., ..., Yeom, H. Y. (2016). A dose monitoring system for dental radiography. *Imaging Science in Dentistry*, 46(2), 103-108.
- Loubele, M., Bogaerts, R., Van Dijck, E., Pauwels, R., Vanheusden, S., Suetens, P., ..., Jacobs, R. (2009). Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications. *European Journal of Radiology*, 71(3), 461-468.
- Luo, L. Z., Gopalakrishna-Pillai, S., Nay, S. L., Park, S. W., Bates, S. E., Zeng, X., ..., O'Connor, T. R. (2012). DNA repair in human pluripotent stem cells is distinct from that in non-pluripotent human cells. *PLoS One*, 7(3), e30541. doi: 10.1371/journal.pone.0030541
- Maynard, S., Swistowska, A. M., Lee, J. W., Liu, Y., Liu, S. T., Da Cruz, A. B., ..., Bohr, V. A. (2008). Human embryonic stem cells have enhanced repair of multiple forms of DNA damage. *Stem Cells*, 26(9), 2266-2274.
- Medina Gironzini, E. (2 de agosto de 2014). *Nuevas tecnologías en el tratamiento de pacientes con cáncer en radioterapia y sus beneficios-B García* [Serie de diapositivas en electrónico]. Recuperada de <https://www.slideshare.net/medinao/nuevas-tecnologias-en-el-tratamiento-de-pacientes-con-cancer-en-radioterapia-y-sus-beneficios-b-garcia>
- Memon, A., Godward, S., Williams, D., Siddique, I., & Al-Saleh, K. (2010). Dental X-rays and the risk of thyroid cancer: A case-control study. *Acta Oncologica*, 49(4): 447-453.
- Organización Mundial de la Salud. (s. f.). [Imagen]. Recuperada de [www.who.int/es/](http://www.who.int/es/)
- Praveen, B. N., Shubhasini, A. R., Bhanushree, R., Sumsum, P. S., & Sushma, C. N. (2013). Radiation in dental practice: Awareness, protection and recommendations. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 14(1), 143-148.
- Rehani & Berris, T. (2013). Radiation exposure tracking: Survey of unique patient identification number in 40 countries. *AJR American Journal of Roentgenology*, 200(4), 776-779.
- Roberts, J. A., Drage, N. A., Davies, J., & Thomas, D. W. (2009). Effective dose from cone beam CT examinations in dentistry. *The British Journal of Radiology*, 82(973), 35-40.
- SEDENTEXCT Guideline Development Panel. (2012). *Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology*. Radiation protection no. 172 [Reporte oficial]. Luxembourg: European Commission Directorate-General for Energy. Recuperado de [http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation\\_protection/doc/publication/172.pdf](http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/publication/172.pdf)
- Shao, L., Luo, Y., & Zhou, D. (2014). Hematopoietic stem cell injury induced by ionizing radiation. *Antioxidants & Redox Signaling*, 20(9), 1447-1462.
- Shin, H. S., Nam K. C., Park, H., Choi, H. U., Kim, H. Y., & Park, C. S. (2014). Effective doses from panoramic radiography and CBCT (cone beam CT) using dose area product (DAP) in dentistry. *Dento maxillo facial Radiology*, 43(5), 20130439. doi: 10.1259/dmfr.20130439
- Sonawane, A. U., Sunil Kumar, J. V., Singh, M., & Pradhan A. S. (2011). Suggested diagnostic reference levels for pediatric X-ray examinations in India. *Radiation Protection Dosimetry*, 147(3), 423-428.
- Svilar, D., Goellner, E. M., Almeida, K. H., & Sobol, R. W. (2011). Base excision repair and lesion-dependent subpathways for repair of oxidative DNA damage. *Antioxidants & Redox Signaling*, 14(12), 2491-2507.
- Vermeulen, W. (2011). Dynamics of mammalian NER proteins. *DNA Repair*, 10(7), 760-771.
- Waingade, M., & Medikeri, R. S. (2012). Analysis of micronuclei in buccal epithelial cells in patients subjected to panoramic radiography. *Indian Journal of Dental Research: Official Publication of Indian Society for Dental Research*, 23(5), 574-578.
- White, S. C., & Pharoah, M. J. (2004). *Oral radiology: Principles and interpretation* (6ª. ed.). St. Louis, MO: Elsevier.
- White, S. C., & Mallya, S. M. (2012). Update on the biological effects of ionizing radiation, relative dose factors and radiation hygiene. *Australian Dental Journal*, 57(Suppl. 1), 2-8.
- Wilson, D. M., Kim, D., Berquist, B. R., & Sigurdson, A. J. (2011). Variation in base excision repair capacity. *Mutation Research*, 711(1-2), 100-112.



## Stephen Hawking. *In memoriam*

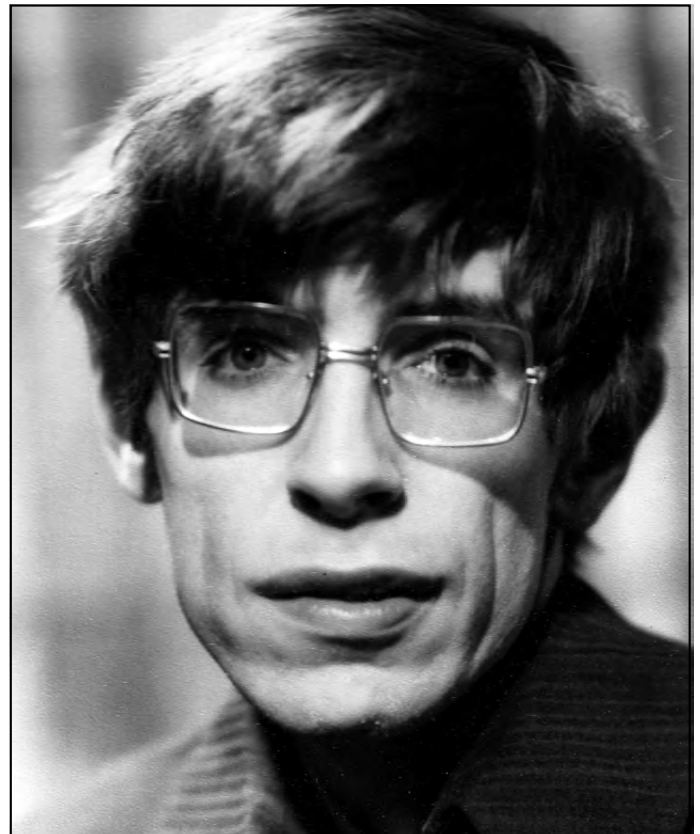
J. Jesús López García\*✉

López García, J. J. (2018). Stephen Hawking. *In memoriam* [Obituario]. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 88-89.

"Fallece el físico Stephen Hawking a los 76 años", señalaron los encabezados de la prensa escrita alrededor del mundo, así como los diversos medios de comunicación daban fe que la luz del físico británico se extinguió: había luto en la Ciencia. A decir de un comunicado del vocero familiar de los Hawking a la British Broadcasting Corporation (BBC), aquél murió de manera tranquila en su hogar en Cambridge a la edad de 76 años, por la mañana del martes 13 de marzo de 2018.

Sin duda alguna que Hawking –nacido en Oxford Stephen William Hawking en 1942- fue todo un gran triunfador en la vida, siendo capaz de superar su discapacidad y la gradual limitación física a causa de la enfermedad degenerativa de Lou Gehring o esclerosis lateral amiotrófica (ELA) que padeció a partir de que se la diagnosticaron cuando tenía 20 años y le acompañó a lo largo de su existencia; pero a pesar de que el mal le provocó parálisis muscular no le afectó el cerebro, lo que hizo posible continuar con su producción científica.

Con formación de matemático y físico obtuvo su grado de licenciatura en 1962 por el University College de Oxford, y en octubre de ese mismo año dio inicio sus estudios de doctorado, título que obtuvo en física teórica en 1966. Para 1963 se le diagnosticaría el citado padecimiento de la ELA augurándole pocos años de vida; sin embargo, esto no ocurrió. En el plano personal, Stephen contrajo nupcias en 1965 con Jane Wayline, de quien tendría tres hijos, matrimonio que duraría casi 25 años, ya que para 1990 se rompió la relación; a pesar de ello, esto no fue obstáculo para que el erudito iniciara nuevamente una relación, esta vez



Stephen Hawking: mente brillante, divulgador generoso. Imagen tomada del portal Taringa en mayo de 2018.

con Elaine Mason, la cual duraría hasta 2007. En la investigación, sus trabajos dirigidos al campo de la relatividad general y puntualmente en la física de los agujeros negros permitieron que la comunidad científica lo equiparara con Albert Einstein.

En 1971 propuso la formación de *miniagujeros negros*, los cuales lo conducirían a conjuntar por vez primera la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica con el propósito de solucionar estas reducidas estructuras de elevada densidad, de las cuales se había afirmado no se obtendría conocimiento

\* Departamento de Diseño del Hábitat, Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad 940, Ciudad Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Correo electrónico: [jjlopezg@correo.uaa.mx](mailto:jjlopezg@correo.uaa.mx)  
✉ Autor para correspondencia

alguno; para 1974 postula, con base en los vaticinios de la física cuántica, que los agujeros negros liberan radiación térmica hasta terminar su energía y desaparecer. A lo largo de su vida, Hawking siempre fue un ganador, incluso en ámbitos comerciales como lo atestigua el éxito a nivel internacional del libro *Breve Historia del Tiempo* en 1988, el cual a partir de su lectura modificó sustancialmente la concepción que se tenía acerca del universo, texto que se alzó como uno de los más vendidos del ámbito científico. Sin embargo y pese a sus masivas ventas, el contenido presentaba ciertos impedimentos al lector común poco familiarizado con los principios de la física teórica, lo que hizo que el profesor decidiera escribir y publicar uno que adentrara al común de todos el maravilloso misterio del mundo y de la vida, a través de *Brevísima Historia del Tiempo*.

Entre otros, Hawking escribió varios libros, de los cuales podemos mencionar:

*Breve historia del tiempo*, en 1988, el clásico de clásicos de los ejemplares escritos por Stephen Hawking, en el cual da respuesta de manera sutil a varias preguntas que continuamente nos hacemos, tales como ¿Hubo un inicio de los tiempos?, ¿Es posible retroceder en el tiempo? Un texto que aborda las grandes teorías del cosmos desde Newton hasta Einstein, para dar paso a explicarnos los secretos del tiempo y del espacio, así como la aclaración de teorías, desde el Big Bang hasta los agujeros negros y las galaxias en espiral.

*El universo en una cáscara de nuez*, en 2001, un libro para disfrutar de las teorías básicas de la relatividad y la cuántica, teniendo como base páginas ricamente ilustradas para aclarar los conceptos que algunas veces nos cuesta digerir.

*La teoría del todo: El origen y el destino del universo*, en 2002, retoma de *Breve...* lo relacionado

con la historia del universo, desde el Big Bang hasta los agujeros negros, ofreciéndonos en siete puntos una explicación del universo, desde el mundo griego con sus primeras teorías, recorriendo la época medieval, hasta el día de hoy.

*Brevísima historia del tiempo*, en 2005, adecuadamente ilustrado para mostrarnos lo hermosa que puede ser la ciencia. Posiblemente el título no le haga justicia ya que tomando como base *Breve historia del tiempo* aclara y amplía los temas torales de éste, actualizando además algunos desarrollos científicos, como la teoría de las cuerdas.

*La clave secreta del universo*, en 2007, *El gran diseño* en 2010, en donde el genio de Hawking habla acerca de las teorías científicas actuales acerca de los misterios que encierra el universo.

*Breve historia de mi vida*, en 2013, narra la experiencia de cómo le fue posible a un jovencito sobrellevar la penosa enfermedad y llegar a ser uno de los grandes personajes de todos los tiempos.

Como reflexión podemos decir que Stephen Hawking fue un universitario completo comprometido con la docencia, la investigación y la difusión del conocimiento; dejó como deudos a ex esposas e hijos, pero a la par lega una labor intensa en la extensión del entendimiento de nuestro universo a todo ser que consciente de sí mismo acceda a comprender su lugar y su tiempo en él, labor que exige ser tal vez debatida, refutada, corregida o aumentada pero sobre todo continuada, pues abarcando tiempo y espacio en su totalidad, Hawking relacionó el descubrimiento de una teoría completa con el *triunfo definitivo de la razón humana* y, partiendo de ello, como eco al romano Terencio: "Siendo humanos, nada humano debe sernos ajeno". En ello radicó la generosidad de su quehacer.

## Revolución. Del Homo sapiens al Homo digitalis

Cendoya, R. (2018). *Revolución. Del Homo sapiens al Homo digitalis* (142 pp., ISBN 9788416412204). Madrid: Sekotia.

Ricardo López-León\*✉

López-León, R. (2018). *Revolución. Del Homo sapiens al Homo digitalis* [Reseña de libro]. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 90-92.

Román Cendoya, autor del libro *Revolución. Del Homo sapiens al Homo digitalis* es un periodista español que ha desarrollado gran parte de su carrera en el periodismo político y de opinión. Por ello, el libro que aquí se reseña tiene ese corte ensayístico que invita a reflexionar sobre ciertos aspectos de la vida cotidiana y el rol que la tecnología juega en la misma, sin llegar a ser en forma un libro con gran rigor académico, como podría ser uno que reporte resultados de una investigación. El autor propone un nuevo concepto que se refleja desde el título, el de *Revolución*, entendida como una fusión entre evolución y revolución, la primera definida como el desarrollo continuo en la historia del hombre, y la segunda como los cambios violentos que rompe con dicha continuidad en los sistemas sociales.

La idea de que un nuevo hombre ha surgido, luego del *homo sapiens*, junto con el desarrollo de las sociedades a través de la historia de la humanidad, ha sido un concepto fértil retomado por distintos autores. Por ejemplo, se propone el surgimiento del *homo faber*, como hombre que es capaz de transformar su entorno con el uso de herramientas (Arendt, 1958); también se reflexiona sobre el *homo aestheticus*, posicionando al arte como elemento central en la evolución del hombre dada su facultad estética (Dissanayake, 1992); *homo videns*, surge por el dominio de la imagen y de la televisión como medio de comunicación, misma que ha empobrecido su capacidad de entender (Sartori, 1998); se habla también del *homo symbolicus*, capaz de realizar

metarrepresentaciones (Henshilwood, 2011); y el *homo religiosus* busca reflexionar sobre si el ser humano está predispuesto a creer en las fuerzas sobrenaturales y practicar la religión (Shah & Friedman, 2018).



\* Departamento de Representación, Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad 940, Ciudad Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Correo electrónico: ralopez@correo.uaa.mx, rico.uaa@gmail.com

✉ Autor para correspondencia

Ante este universo de nuevos hombres, Cendoya propone hablar también del *homo digitalis*, caracterizado por ser el más avanzado en el uso tecnológico, dado que las máquinas no han entrado en su vida, sino que nació cuando la tecnología ya estaba allí. El autor le llama *digitalis* o táctil porque ya no necesita el teclado para interactuar con la tecnología, sino que puede hacerlo por voz o con los dedos aplicados directamente sobre la pantalla. Esta forma de acceder a la información para Cendoya llevará al nuevo hombre a perder habilidades milenarias del *sapiens*, que se lograron gracias a la evolución del lenguaje y la escritura.

El rápido desarrollo de la tecnología y la dependencia que ha provocado en varios aspectos de la vida cotidiana desde la comunicación hasta el trabajo genera, según el autor, tres tipos de hombres:

- Los *prebotónicos*, como aquellos hombres que han tenido que adaptarse al desarrollo tecnológico y les cuesta trabajo interactuar con las nuevas tecnologías; tuvieron que vivir la era en que iniciaba la interacción con una computadora, el nacimiento de internet y ahora los teléfonos móviles.
- Los *botónicos* son hombres que tuvieron mejor suerte, pues la tecnología llegó a sus vidas cuando eran pequeños, por lo que han podido adaptarse fácilmente; se les considera pioneros en la incorporación de la tecnología a la vida social. Sin embargo, su forma de pensar aún es análoga, y la tecnología crece tan rápido que los botónicos poco a poco se van quedando atrás.
- Los *táctiles*, son los niños que nacieron a partir del siglo XXI y que ahora interactúan con la tecnología todo el tiempo, su primera fuente de consulta incluso para actividades cotidianas y compras es el internet. Están conectados todo el tiempo y acostumbrados a que constantemente estén surgiendo nuevos *gadgets* y aplicaciones por lo que se adaptan fácilmente a ellas. A ellos les corresponde el nombre de *homo digitalis*.

La denominación de prebotónicos, botónicos y táctiles refiere a las tecnologías que permiten la interacción, tal como el teclado en la computadora y como era en los teléfonos celulares, aunque no es la única forma de ver cómo el hombre se relaciona con las nuevas tecnologías en la era de la información. Por ejemplo, Helling (2011) distingue dos tipos de

perfiles de personas: los Sujetos Digitales Nativos, que son aquellos que nacieron en medio de la era digital, y los Sujetos Digitales Inmigrantes, como aquellos que han tenido que migrar a la era digital. Para Cendoya, la interacción con el botón marca un antes y un después, dado que el *homo digitalis* ya no interactúa con teclados sino directamente sobre la pantalla. Esto es importante para el autor pues la no-interacción con el teclado merma también el ejercicio de la escritura, la cual como sistema tecnológico representa miles de años de evolución y símbolo por excelencia del pensamiento del *homo sapiens*. Con la pérdida del teclado y de la escritura, entre otras habilidades milenarias, gracias a la comunicación e interacción con las pantallas a través de íconos, la evolución del *sapiens* termina en la extinción, siendo el *homo digitalis* el nuevo ser prehistórico que viene a reemplazarlo con un nivel de entendimiento empobrecido, predicción similar a la de Sartori y su *homo videns*.

*Revolución* es también un recorrido a través del tiempo. Cendoya repasa como si fuera un álbum fotográfico cómo era la interacción con las computadoras en un inicio, los miedos y dudas que había para tareas tan simples como copiar archivos y no se diga para el uso de internet y del correo electrónico, y cómo cada vez más decisiones son tomadas a través de la tecnología, aspecto que también se toca en el libro *The design of future things* (Norman, 2007). La evolución de la música y los dispositivos, formatos y aparatos que han surgido para escucharla, entre otras tecnologías del pasado es también revisada, destacando el lenguaje que se tuvo que inventar para referir a nuevas experiencias y dispositivos, de manera que algunas palabras tuvieron que ser importadas desde las actividades análogas por los botónicos.

La cantidad de información disponible es también uno de los temas del libro, la cual para el autor resulta similar al espacio exterior, pues hay páginas desoladas como planetas y la cantidad de información es tan inmensa que una sola persona no podría ver todas las páginas que actualmente existen, pues hoy día hay muchas páginas más que habitantes en el planeta, y foros con más visitantes que cualquier ciudad turística del mundo. La vida cotidiana está ahora regida por el tecnosistema; es decir, el ecosistema tecnológico en el que vivimos, de manera que personas que nunca habían tenido interacción con la tecnología, como un cajero automático, ahora tienen que enfrentarse al miedo de interactuar con pantallas, pues esa es hoy por hoy una de las formas de pago más comunes;

en otras palabras, cada vez más actividades antes cotidianas son ahora mediadas por la tecnología, cambios -según el autor - imparables e irreversibles.

*Revolución. Del Homo sapiens al Homo digitalis* es una reflexión que ayuda a darnos cuenta de cómo

se ha dado la colonización de la tecnología en tan poco tiempo, mientras que el surgimiento de un nuevo hombre con una nueva forma de interactuar y entender el mundo es una propuesta que queda para el debate.

### Bibliografía

- Arendt, H. (1958). *The human condition*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Cendoya, R. (2018). *Revolución. Del Homo sapiens al Homo digitalis*. Madrid: Sekotia.
- Dissanayake, E. (1992). *Homo aestheticus: Where Art comes from and why*. Washington: University of Washington Press.
- Holding, L. (2011). Digital natives and digital immigrants: Teaching and learning in the digital age. *Journal of Singing*, 68(2), 199-206.
- Henshilwood, C. (2011). *Homo symbolicus: The dawn of language, imagination and spirituality*. Amsterdam: John Benjamins.
- Norman, D. (2007). *The design of future things*. Philadelphia: Basic Books.
- Sartori, G. (1998). *Homo videns. La sociedad teledirigida*. Buenos Aires: Taurus.
- Shah, T., & Friedman, J. (2018). *Homo religiosus?: Exploring the roots of religion and religious freedom in human experience*. Cambridge: Cambridge University Press.

## Política editorial de la revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*

*Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* es una revista arbitrada, científica y multidisciplinaria; editada y distribuida cuatrimestralmente por el Departamento de Apoyo a la Investigación, de la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Se editan tres números por año en versión impresa y electrónica.

La revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* contribuye con la difusión del conocimiento científico y tecnológico generado por investigadores de la región, nacionales y extranjeros mediante la publicación de artículos de investigación, revisiones científicas, notas científicas, reseñas de libros y obituarios, para fomentar la colaboración multidisciplinaria e interinstitucional que favorezca el desarrollo de la investigación, promueva la publicación de sus resultados y la formación de una cultura científica en la población lectora.

Tiene como objetivo principal difundir, comunicar y divulgar el conocimiento científico y tecnológico, así como promover el desarrollo de la investigación y la producción científica con estándares de calidad en el ámbito local, nacional e internacional a través de la publicación de artículos originales y de difusión.

Está dirigida a estudiantes de licenciatura, ingenierías y posgrados, profesionistas de las diversas disciplinas, profesores e investigadores y público interesado en la investigación científica y el desarrollo tecnológico. Se distribuye en instituciones de educación superior, centros de investigación, bibliotecas, y organismos del sector público. Cuenta con convenios de intercambio bibliotecario, como: México-USA, COMPAB, REBCO y REMBA. A nivel internacional la revista se difunde por medio de los índices en los que está citada: Índice de Revistas de Divulgación Científica y Tecnológica del Conacyt, Actualidad Iberoamericana, IRESIE, LATINDEX, PERIÓDICA y REDALYC, y en las bases de datos: DIALNET, EBSCO, HELA, ULRICH'S Periodicals Directory e Informe Académico.

El primer número se publicó en el año de 1990 y hasta el momento se han editado más de 70. En su estructura considera tres secciones: 1) Editorial, que incluye el Directorio, un Consejo Editor, un Comité Editorial de distinguida trayectoria y el grupo editor. 2) Artículos científicos, inéditos y originales. 3) Reseñas de libros y obituarios, todos relacionados con las Ciencias Agropecuarias, Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias de la Salud, Ingenierías y Tecnologías, así como las Ciencias Económicas, Sociales y Humanidades.

La revista participa en la Declaración del Movimiento Internacional "Open Acces" con el fin de contribuir al aumento de la visibilidad, el acceso y la difusión de la producción científica, por ello, los autores y colaboradores de los artículos ceden los derechos autorales a través de una carta de cesión de derechos, a la revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, de manera que la misma podrá publicarlos en formato impreso y/o electrónico, incluyendo Internet.

### CRITERIOS PARA PUBLICAR

Los manuscritos propuestos a publicación, deberán ser textos científicos que no hayan sido publicados ni enviados simultáneamente a otra revista para su publicación y de esta manera, sean una contribución inédita a la literatura científica. Solo se aceptan artículos escritos en idioma español y deberán contener todas las secciones estipuladas en esta guía, formateados correctamente. Deben seguir las reglas gramaticales y ortográficas de la lengua española. Todos los manuscritos serán evaluados por al menos dos especialistas o investigadores expertos de las diferentes áreas, pertenecientes a diversas instituciones de investigación reconocidas a nivel nacional e internacional.

### Tipos de publicaciones

*Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* acepta artículos originales: de investigación, revisiones científicas y notas científicas; asimismo, reseñas de libros y obituarios; sin embargo, se da prioridad al primer género, de tal manera que integrará el 75% del contenido de cada número y el 25% corresponderá al segundo género.

**Artículo de investigación:** Informa los resultados de una investigación, cuyo tema queda comprendido en alguna de las áreas del conocimiento anteriormente indicadas y es de interés científico por su relevancia.

**Artículo de revisión científica:** Resume y analiza un tema científico de importancia, es una revisión de la literatura y del estado actual de un campo de investigación, que ofrece una evaluación crítica del tema.

**Nota científica:** Es un artículo corto de un tema relevante, novedoso y actual, de ciencia y tecnología que describe o explica un hallazgo y por su mérito científico ameritan una rápida publicación. Pueden incluirse resultados relevantes que se quieren difundir de forma rápida y no detallada, con información concluyente, pero insuficiente para su análisis en extenso.

**Reseña de libro:** Narra o describe de manera breve y clara la evaluación o crítica constructiva de una obra literaria o científica que se ha publicado en los tres años anteriores a la fecha de publicación de la reseña.

**Obituario:** Describe la vida y obra de una persona fallecida con aportaciones relevantes a la ciencia.

### Estructura del contenido

#### Artículo de investigación

No deberá ser menor de cinco ni mayor de 20 cuartillas incluyendo las ilustraciones. En algunos casos se podrá acordar con el editor una extensión mayor, no sin antes valorar la importancia de dicha ampliación. Los manuscritos deberán incluir los siguientes elementos (si de acuerdo a la temática no es posible cumplirlo se deberá justificar, en su caso podrán aceptarse ensayos con una aportación crítica, analítica y documentada):

**Título.** Deberá ser breve y claro que refleje el contenido del trabajo. No exceder de 20 palabras, escrito en español y en renglón aparte, el título en inglés.

**Nombre(s) del/los autor(es).** Se presentará en primer orden el nombre completo del autor principal y posteriormente de los coautores (sin grado académico), agregando al pie de primer página para cada uno su adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución y correo electrónico. Indicar quién es el autor para correspondencia.

**Resumen.** Deberá ser un sólo párrafo que sintetice el propósito del trabajo y reúna las principales aportaciones del artículo en un máximo de 150 palabras, sin subdivisiones y sin citas bibliográficas. Esta sección se iniciará con la palabra **Resumen** al margen izquierdo, con letras negritas y sin punto. Todo manuscrito debe incluir una versión en inglés del resumen (*abstract*).

**Palabras clave.** Incluir seis palabras clave relacionadas con el contenido del trabajo, separadas con punto y coma, escritas en español y su versión en inglés (*keywords*).

**Introducción.** Señalar en qué consiste el trabajo completo, objetivos, antecedentes, estado actual del problema e hipótesis.

**Materiales y Métodos.** Describir en forma precisa el procedimiento realizado para comprobar la hipótesis y los recursos empleados en ello.

**Resultados.** Describir los resultados de la investigación. Se podrán presentar datos de medición o cuantificación.

**Discusión.** Presentar la interpretación de los resultados de acuerdo con estudios similares, es decir, correlacionando

el estudio con otros realizados, enunciando sus ventajas y aportaciones, evitando adjetivos de elogio.

**Conclusiones.** Precisar qué resultados se obtuvieron y si permitieron verificar la hipótesis; asimismo, plantear perspectivas del estudio y de su aplicación.

**Agradecimientos.** Mencionar fuente de financiamiento o gratitud que el autor considere necesario.

**Referencias.** Todas las referencias citadas en el texto deberán aparecer en esta sección y viceversa. Se enlistarán las fuentes bibliográficas y páginas electrónicas consultadas en riguroso orden alfabético sin enumeración ni viñetas, con sangría francesa e interlineado doble.

Todos los artículos deberán apegarse al Manual de Publicaciones de la *American Psychological Association* (APA) 6ta. edición.

**Para libro.** Iniciar con el apellido del primer autor con mayúsculas y minúsculas, separándolo de la(s) inicial(es) del nombre con una coma. Si son varias iniciales, éstas se separan entre sí con un punto y un espacio. Se coloca un punto después de la última inicial de cada autor y una coma para separar el nombre del siguiente autor. Después del último autor se abre un paréntesis donde se coloca el año de la referencia citada, se cierra el paréntesis y se coloca un punto. Se escribe el título del libro con mayúsculas y minúsculas y cursivas. Se coloca entre paréntesis la edición usando número ordinal con la abreviatura *ed* y un punto al cierre del paréntesis. En caso de ser la primera edición se omitirá. A continuación la ciudad (si la ciudad en la que se encuentra la editorial no es muy conocida, se colocará el país también), dos puntos, espacio y el nombre de la editorial con mayúsculas y minúsculas, y punto final. Aquí se presenta el formato de diversas publicaciones con diferente número de autores.

#### Formato de libro con un autor:

Apellido1 Apellido2 de autor, X. (Año). *Título de libro*. Ciudad: Editorial.

#### Formato de libro con número de edición y con un autor:

Apellido1 Apellido2 de autor, X. (Año). *Título de libro* (0ª. ed.). Ciudad: Editorial.

#### Formato de libro con dos autores:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, X., & Apellido1 Apellido2 de Autor2, Y. (Año). *Título de libro* (0ª. ed.). Ciudad: Editorial.

#### Formato de libro con tres a siete autores:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, V., Apellido1 Apellido2 de Autor2, W., Apellido1 Apellido2 de Autor3, X., Apellido1 Apellido2 de Autor4, Y., & Apellido1 Apellido2 de Autor5, Z. (Año). *Título de libro* (0ª. ed.). Ciudad: Editorial.

En caso de haber un libro con ocho o más autores, se colocan los primeros seis autores igual que en los libros con siete o menos autores, inmediatamente puntos suspensivos, coma, y el último autor. El año, título, ciudad y editorial se colocan igual que en libro con menos de ocho autores.

En referencias de origen anglosajón es usual que autores tengan su nombre normalizado con un solo apellido, lo cual facilita su búsqueda en índices. Algunos autores de origen latino, por otra parte, en ocasiones colocan su nombre con ambos apellidos unidos por un guion, con el mismo motivo. Se tratará de respetar este aspecto dentro de lo posible.

#### **Formato de libro editado:**

Apellido1 Apellido2 de Editor1, X., & Apellido1 Apellido2 de Editor2, Y. (Eds.). (Año). *Título de libro editado*. Ciudad: Editorial.

#### **Formato de capítulo en libro editado:**

Apellido1 Apellido2 de autor de capítulo, X. (Año). Título de capítulo de libro editado. En X. Apellido1 Apellido2 de Editor (Ed.), *Título de libro editado* (pp. 000-111). Ciudad: Editorial.

**Para artículo científico en publicación periódica.** Para autores y año de publicación es igual que para libro; de ser revista mensual, se incluirá el mes antes del año. Después se coloca el título del artículo empleando mayúsculas y minúsculas y redondas. Punto. Nombre de la revista o publicación con mayúsculas y minúsculas y cursivas, coma, volumen con cursivas, número de publicación entre paréntesis, coma, espacio y número de primera y última página del artículo separadas por guion y punto final.

#### **Formato de artículo en publicación periódica:**

Apellido1 Apellido2 de Autor1, W., Apellido1 Apellido2 de Autor2, X., Apellido1 Apellido2 de Autor3, Y., & Apellido1 Apellido2 de Autor4, Z. (Año). Título del artículo. *Nombre de revista*, 0(1), 000-111.

#### **Formato para artículo de periódico:**

Apellido1 Apellido2 de Autor, X. (día de mes de año). Título de artículo o nota. *Nombre de periódico*, pp. X0, X1.

**Para sitio de Internet.** Este tipo de referencias deben ir en orden alfabético en la misma lista que las referencias consultadas para realizar el documento. Se sigue el mismo proceso que para las versiones impresas, pero en las referencias electrónicas se incluye la clave conocida como DOI (digital object identifier, por sus siglas en inglés), que significa identificador digital de objetos, aunque no todas las publicaciones electrónicas cuentan con uno. De contar con DOI, es suficiente con colocarlo después de

la editorial, en caso de ser libro; o después de las páginas Recuperado de, en caso de publicación periódica, para una adecuada recuperación de los datos. Si no se tiene DOI, se coloca el URL (uniform resource locator, por sus siglas en inglés) o localizador uniforme de recursos, al que se conoce como enlace electrónico.

Ejemplo de URL:

<http://www.crossref.org/02publishers/glossary.html>

Al trabajar con un enlace electrónico en un documento de texto, es importante tener la casilla de guiones inactiva en el procesador. También lo es copiar el URL de la ventana de dirección del navegador y pegarlo en el documento para una correcta recuperación de los datos. Tanto el DOI como el URL deben colocarse sin agregar ningún punto final, aunque sean la parte última de la referencia, ya que ello puede dar lugar a confusión en el rastreo de los datos.

Ejemplo de DOI:

10.1037/0278-6133.27.3.379

#### **Formato de libro electrónico con DOI:**

Apellido1 Apellido2 de Autor, X. (Año). *Título de libro*. doi: 00.0000/0-000-00000-0

#### **Formato de libro electrónico sin DOI:**

Apellido1 Apellido2 de Autor, X. (Año). *Título de libro*. Recuperado de <http://www.xxxxx.xxx.xxx/xxxx/XXXX.xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx0xxxx0xxxx00000>

#### **Formato para publicación periódica electrónica con DOI:**

Apellido1 Apellido2 de Autor1, X., Apellido1 Apellido2 de Autor2, Y., & Apellido1 Apellido2 de Autor3, Z. (Año). Título del artículo. *Nombre de la revista electrónica*, 0(1), 000-111. doi: xx.xxxxxxxx

#### **Formato para publicación periódica electrónica sin DOI:**

Apellido1 Apellido2 de Autor1, X., Apellido1 Apellido2 de Autor2, Y., & Apellido1 Apellido2 de Autor3, Z. (Año). Título del artículo. *Nombre de la revista electrónica*, 0(1), 000-111. Recuperado de <http://www.xxxxxxx>

#### **Periódico en línea:**

Además de la información para periódico impreso mencionada en esta guía, agregar Recuperado de y el enlace electrónico.

#### **Formato para una película:**

Apellido1 Apellido2 de Productor, X. (Productor), & Apellido1 Apellido2 de Director, Y. (Director). (Año). *Título de la película* [Película]. País de origen: Estudio.



**Formato para una fotografía recuperada en línea:**

Apellido1 Apellido2 de Fotógrafo, X. (Año). *Título de fotografía* [Fotografía]. Recuperado de <http://www.www.www>

**Si no se tiene el autor:**

Título de la fotografía [Fotografía]. (Año). Recuperado de <http://www.www.www>

**Si no se tienen tampoco título ni fecha:**

[Imagen de xxxxx]. Recuperado de <http://www.www.www>

Para mayor detalle se recomienda consultar los lineamientos del manual de publicaciones de la APA (*American Psychological Association*). Se pueden revisar en

Tovar Sosa, M. A. (Dir. ed.). (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association*. Versión abreviada (2ª. ed., trad. de la 6ª. en inglés M. Guerra Frías). México: Editorial El Manual Moderno.

Para las citas a lo largo del documento se recomienda la siguiente guía.

Cuando el o los nombres de los autores forman parte de la redacción; es decir, están incluidos en la acción, se colocan los autores unidos con la conjunción “y”, posteriormente se coloca el año entre paréntesis. Ejemplo: Domínguez Márquez y Johns (2009) descubrieron que las partículas se movían hexagonalmente. En la siguiente tabla se encuentra el formato para este tipo de cita.

Número de autores	Primer mención de autor(es) dentro de la redacción	Siguientes menciones dentro de la redacción
Un autor	Apellido(s) de Autor (año)	Apellido(s) de Autor (año)
Dos autores	Apellido(s) de Autor1 y Apellido(s) de Autor2 (año)	Apellido(s) de Autor1 y Apellido(s) de Autor2 (año)
Tres a cinco autores	Apellido(s) de Autor1, Apellido(s) de Autor2, de Autor3, de Autor4 y de Autor5 (año)	Apellido(s) de Autor1 et al. (año)
Seis autores en adelante	Apellido(s) de Autor1 et al. (año)	Apellido(s) de Autor1 et al. (año)

Por otra parte, cuando el o los nombres de los autores no forman parte de la redacción; es decir, están excluidos de la acción, se colocan tanto los autores como el año dentro del paréntesis, separados por una coma. Ejemplo: Otros autores han descubierto que las partículas se movían hexagonalmente (Domínguez Márquez, & Johns, 2009). En la siguiente tabla se encuentra el formato para este tipo de cita.

Número de autores	Primer mención de autor(es) fuera de la redacción	Siguientes menciones fuera de la redacción
Un autor	(Apellido[s] de Autor, año)	(Apellido[s] de Autor, año)
Dos autores	(Apellido[s] de Autor1 & Apellido[s] de Autor2, año)	(Apellido[s] de Autor1 & Apellido[s] de Autor2, año)
Tres a cinco autores	(Apellido[s] de Autor1, Apellido[s] de Autor2, de Autor3, de Autor4, & de Autor5, año)	(Apellido[s] de Autor1 et al., año)
Seis autores en adelante	(Apellido[s] de Autor1 et al., año)	(Apellido[s] de Autor1 et al., año)

**Tablas y Figuras.** Deberán encontrarse insertadas en el lugar que les corresponde a lo largo del artículo, se identificarán consecutivamente con números arábigos y cada una deberá ser mencionada pertinentemente dentro del texto.

En cuanto a las tablas, su orientación será vertical. Deberán tener título breve pero explicativo en la parte superior utilizando mayúsculas y minúsculas, así como la fuente de donde se obtuvieron al pie de las mismas. Se suprimirán los filetes verticales. Cada tabla deberá, además de estar incluida en el documento, ser enviada aparte en el formato original en el que fue creada (Word, Excel, por ejemplo). Se evitará enviar tablas creadas en formato de imagen o pdf.

Con respecto a las figuras, se consideran como tales tanto gráficas, como fotografías, mapas, planos, dibujos, etc., se utilizarán mayúsculas y minúsculas con tipografía Century Gothic 8-10 pts. en su elaboración. Se deberá explicar en un texto al pie de la imagen, claro pero breve, el contenido de cada una, así como la fuente de donde se obtuvo. El tamaño máximo de cada figura incluyendo texto al pie será de 12 cm de longitud y 16 cm de ancho, el mínimo permitido será de 6 cm de longitud y 8 cm de ancho. Los dibujos o esquemas deberán estar en original y tener una calidad mínima de 300 ppp. o al menos 5 megapíxeles con formato tiff, eps o jpg.

Además de las gráficas, mapas, planos, etc., que pueda contener, el artículo deberá incluir por lo menos una fotografía con texto al pie breve pero explicativo, e incluir todas las características referidas en esta guía.

Para especificar la fuente tanto en tablas como figuras, en caso de ser de su autoría, se colocará la leyenda “Elaboración propia” al pie de cada tabla o figura. De no ser así, es responsabilidad del autor contar con el permiso para tomar o adaptar información, así como colocar la fuente de donde se tomó o adaptó la misma con la

leyenda "Tomada de..." o "Adaptada de...", según corresponda, e incluir dicha referencia en el apartado correspondiente, para tener un cruce de referencias completo.

**Ecuaciones o símbolos matemáticos.** En caso de que el artículo contenga ecuaciones o símbolos matemáticos que pudiesen perderse en el proceso de edición, se enviarán, además del archivo en Word, el mismo documento en formato pdf con cada ecuación o símbolo señalados y otro archivo también en pdf, que contenga únicamente las ecuaciones.

#### Identificación de archivos de imagen para envío:

Para el envío de archivos de figuras, el o los archivos deberán estar nombrados con la expresión Fig, sin espacio el número consecutivo y sin espacio una o máximo dos palabras identificatorias del artículo, sin acentos, puntos ni guiones, con la finalidad de lograr una mayor fluidez en el proceso de edición.

Ejemplo:  
Fig1Nanotubos  
Fig2EspecieMarina

#### Artículo de revisión científica

No deberá ser menor de cinco ni mayor a 20 cuartillas, considerando figuras y tablas insertadas dentro del documento. Debe incluir título en español y en inglés; nombre, datos de adscripción con dirección completa de institución y correo electrónico de cada autor a pie de primer página; resumen en español y en inglés (abstract) y palabras clave en español y en inglés (keywords); texto del artículo considerando: introducción al tema (incluyendo por qué el problema es de interés), desarrollo del trabajo con una discusión académica, conclusión y un apartado de referencias. El contenido del artículo puede estar subdividido cuidando que exista una conexión entre los apartados. Las referencias, figuras y tablas seguirán el mismo formato que en los artículos de investigación.

#### Nota científica

No deberá ser mayor a cinco cuartillas. Debe incluir título en español y en inglés; nombre, datos de adscripción con dirección completa de institución y correo electrónico de cada autor a pie de primer página; resumen en español y en inglés (abstract) y palabras clave en español y en inglés (keywords). El texto deberá escribirse de continuo y sin espacio extra entre los párrafos. Las referencias, figuras y tablas seguirán el mismo formato que en los artículos de investigación.

#### Reseña de libro

No deberá ser mayor a dos cuartillas, con la imagen de la portada ya insertada. Debe incluir identificación del autor y su obra: nombre del autor, título de la obra, lugar de publicación, editorial, fecha de edición, ISBN y número de páginas; resumen o descripción del texto o contenido, se-

ñalando las partes en que está integrado, crítica y conclusión, literatura, fotografías, ilustraciones o gráficas y otros recursos o datos relevantes que lo particularizan como exponente y autoridad en la materia. Se enviará, aparte del archivo de texto, un archivo jpg con la portada del libro en la edición reseñada.

#### Obituario

No deberá ser mayor a dos cuartillas, considerando ya la fotografía ilustrativa dentro del texto. Deberá incluir nombre del autor y sus datos de adscripción incluyendo correo electrónico a pie de primer página, texto del artículo con una introducción que incluya nombre de la persona recordada, fecha y lugar de nacimiento y muerte, una breve biografía, aportaciones científicas y académicas relevantes en la ciencia y una reflexión. También es importante que el autor envíe aparte el archivo jpg con buena resolución de la fotografía en donde aparezca solamente el científico aludido para ilustrar el documento. Deberá colocar la autoría de dicha imagen o la fuente de donde se obtuvo.

#### Características de la revisión de artículos

1. El editor se reserva el derecho de devolver a los autores los artículos que no cumplan con los criterios para su publicación.
2. El proceso de dictaminación se llevará a cabo siguiendo un orden, de acuerdo con la fecha de recepción.
3. Los artículos son revisados mediante un software para detección de plagio.
4. Todos los trabajos son sometidos a un arbitraje de doble ciego a cargo de la Cartera de Árbitros que integra la revista, la cual está compuesta por miembros del SNI o investigadores expertos en el área pertenecientes a instituciones de investigación reconocidas a nivel nacional e internacional. Cada trabajo es revisado por al menos dos evaluadores, especificando en el dictamen si se acepta el artículo intacto, con modificaciones o si definitivamente se rechaza. En caso de contar con resultados discrepantes, se enviará el trabajo a un tercer evaluador, cuyo resultado será definitivo.
5. El editor dará a conocer al autor contacto el resultado del arbitraje a través del formato "Observaciones"; si el trabajo es aceptado con modificaciones, el autor deberá atenderlas en un plazo no mayor a 10 días hábiles y enviará nuevamente al editor el original y el archivo electrónico del artículo junto con un **archivo de respuesta a dichas observaciones** en formato Word. El archivo consiste en una explicación detallada de las modificaciones realizadas tomando en cuenta todas y cada una de las observaciones

señaladas por los evaluadores. Se deberá incluir el comentario del evaluador y correspondiente acción o respuesta del autor. No es necesario incluir en este archivo las anotaciones realizadas por los evaluadores sobre el artículo.

6. Cuando el autor demore más de 30 días en responder a las sugerencias de los evaluadores, el artículo no será considerado para publicarse en el siguiente número de la revista.
7. El editor informará al autor contacto, en su caso, el avance de su trabajo en el proceso de dictaminación, el rechazo, o la fecha de publicación del mismo.
8. La revista se reserva el derecho de adelantar o posponer los artículos aceptados con el fin de dar una mejor estructura a cada número de acuerdo a la política editorial.
9. Una vez que el artículo haya sido aceptado, pasará a una revisión de estilo y formato, para su versión definitiva. Se enviarán pruebas de impresión en formato pdf al autor para correspondencia y serán devueltas al editor dos días después de haber sido recibidas. Si las pruebas no se entregan a tiempo, el artículo se publicará sin las correcciones correspondientes.
10. Los artículos presentados son responsabilidad total del autor (o los autores) y no reflejan necesariamente el criterio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, a menos que se especifique lo contrario.

### Indicaciones para los autores

1. El escrito se enviará en formato Word y en formato pdf en hoja tamaño carta.
2. Tipografía para texto: Arial en 12 pts. Tipografía para figuras: Century Gothic 10 pts.
3. Justificación: Completa, no utilizar sangría al inicio de párrafos.
4. Márgenes: Superior e inferior 2.5 cm.; izquierdo y derecho de 3 cm.
5. Espacio: Doble.
6. Abreviaturas: Escribir el término completo la primera vez que se usa y seguirlo con la abreviatura entre paréntesis.
7. Las expresiones matemáticas deben estar escritas claramente y se debe utilizar el Sistema Internacional de Unidades. Asimismo, los conceptos y términos científicos y técnicos deberán escribirse de forma clara y precisa.
8. Es importante que la información se condense dentro del texto principal y utilizar alguna nota al pie solo

para fortalecer los planteamientos del artículo. La nota debe transmitir solo una idea evitando ecuaciones o párrafos complejos.

9. Sugerir por lo menos tres posibles evaluadores para la revisión de su trabajo. La selección final de revisores será responsabilidad del editor.
10. Los autores tendrán derecho a recibir cinco ejemplares de la versión impresa. No se tienen costos por publicación.

### Especificaciones de envío

Para enviar un artículo es necesario que el documento cumpla estrictamente con los lineamientos de formato y de contenido que anteriormente se han especificado.

El envío del artículo puede realizarse mediante dos vías:

- a) **Mensajería o entrega personal** en la Dirección General de Investigación y Posgrado, en un sobre cerrado dirigido a María del Carmen Martínez Serna, editora de la revista, el cual deberá contener artículo impreso, archivos del artículo e ilustraciones, resumen curricular del primer autor y datos del autor para correspondencia.
- b) **Correo electrónico** dirigido a la editora de la revista, a través de [revistaiyc@correo.uaa.mx](mailto:revistaiyc@correo.uaa.mx) que contenga archivos adjuntos (*attachment*) con el artículo, las ilustraciones, resumen curricular del primer autor y datos del autor para correspondencia.

Es importante que el autor conserve una copia de los archivos y de la impresión enviada.

### Colaboración e informes

#### Revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*

Dirección General de Investigación y Posgrado

Departamento de Apoyo a la Investigación

Av. Universidad núm. 940, C.U.,

Edificio Académico-Administrativo, piso 5

C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México

Teléfono (449) 910 74 00 Ext. 34113

Correo electrónico: [revistaiyc@correo.uaa.mx](mailto:revistaiyc@correo.uaa.mx)

[www.uaa.mx/investigacion/revista](http://www.uaa.mx/investigacion/revista)