

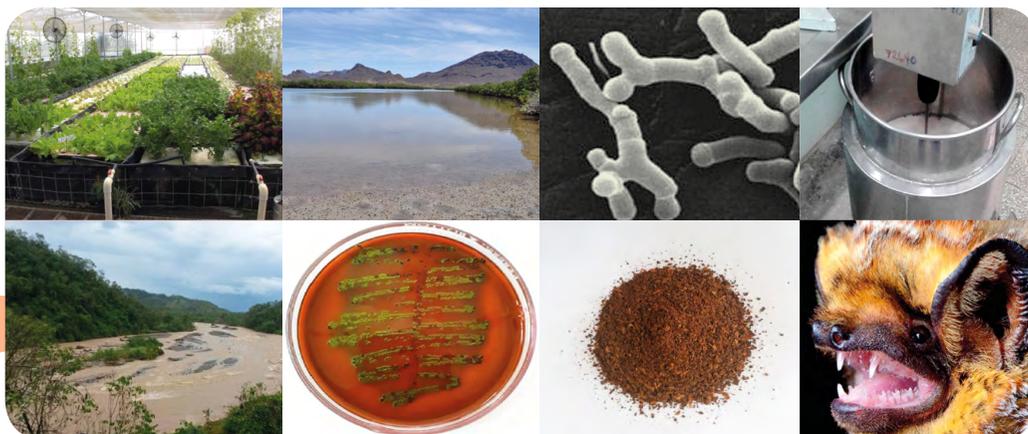
INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

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

AÑO 27
MAYO-AGOSTO 2019

77

EDICIÓN CUATRIMESTRAL
ISSN 1665-4412
e-ISSN 2521-9758



Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México

Importancia del monitoreo de procesos biogeoquímicos en lagunas costeras: Área Natural Protegida estero El Soldado como estudio de caso

Inhibición de *Enterobacter cloacae* por *Bifidobacterium longum*

Estudio preliminar del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala de laboratorio

Caracterización hidrográfica de las cuencas de la Bahía de Navidad, Jalisco, México

Prevalencia de infecciones de vías urinarias en el embarazo y factores asociados en mujeres atendidas en un centro de salud de San Luis Potosí, México

Expresión de CD43, piruvato cinasa II y hexocinasa II en carcinoma epidermoide cervicouterino

Determinantes de la capacidad de innovar en países de la OCDE

Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana

La vacunación de murciélagos contribuirá a obtener y mantener el estado libre de rabia en las naciones

Roberto Muñoz Guerrero.
In memoriam

Sentido y gramática en español. 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 27, núm. 77, periodo mayo-agosto 2019, 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, 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 Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2018-060115052000-203, e-ISSN: 2521-9758. 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 2019 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 y bases de datos:

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>

IRESE (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

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

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:

• Policultivos en sistema acuapónico • Área Natural Protegida estero El Soldado como estudio de caso • Aspecto morfológico de *Bifidobacterium longum* • Equipo de maceración empleado en la prueba a escala de banco • Arroyo El Pedregal en caudal pico • Cultivo de *Escherichia coli* • Pulpa de café molida • *Lasiurus cinereus* Murciélago gris insectívoro

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. 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
FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN
- 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

- **Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México** 5-11
Economic and financial feasibility of an aquaponic production system of tilapia, lettuce and river prawn in Delicias, Chihuahua, Mexico

Dulce María Calderón-García
Jesús Miguel Olivas-García
Concepción Luján-Álvarez
Susana Hilda Ríos-Villagómez
Javier Hernández-Salas

CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

- **Importancia del monitoreo de procesos biogeoquímicos en lagunas costeras: Área Natural Protegida estero El Soldado como estudio de caso** 12-18
The importance of monitoring biogeochemical processes in coastal lagoons: Estero El Soldado Protected Natural Area as a case study

Julio Medina-Galván
Juan Manuel Audelo-Naranjo
José Alfredo Arreola-Lizárraga

- **Inhibición de *Enterobacter cloacae* por *Bifidobacterium longum*** 19-26
*Inhibition of *Enterobacter cloacae* by *Bifidobacterium longum**

María Porfiria Barrón-González
Carlos Mireles-Rangel
Fabiola Lizeth Cuéllar-Guevara
Daniel J. Eguiarte-Lara
Yadira Quiñones-Gutiérrez

- **Estudio preliminar del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala de laboratorio** 27-37
Preliminary study of the beer production process from red sorghum CIAP R-132 at laboratory scale

Amaury Pérez-Sánchez
Helen María Alfonso-Fernández
Julio Cesar Aragón-Fontes
José Gerardo Baltá-García
Isnel Benítez-Cortés

INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS

- **Caracterización hidrográfica de las cuencas de la Bahía de Navidad, Jalisco, México** 38-46
Hydrographical characteristic of basins of Bahía de Navidad, Jalisco, Mexico

José Mariscal-Romero
Tunuary Roberto Chávez-González
Judith Arciniega-Flores

CIENCIAS DE LA SALUD

- **Prevalencia de infecciones de vías urinarias en el embarazo y factores asociados en mujeres atendidas en un centro de salud de San Luis Potosí, México** 47-55
Prevalence of urinary infections in pregnancy and associated factors in women attended in a health center of San Luis Potosi, Mexico

Ma. de Lourdes Zúñiga-Martínez

CONTENIDO

Karina López-Herrera
Ángel Antonio Vértiz-Hernández
Alejandra Loyola-Leyva
Yolanda Terán-Figueroa

- **Expresión de CD43, piruvato cinasa II y hexocinasa II en carcinoma epidermoide cervicouterino** 56-62
Expression of CD43, pyruvate kinase II and hexokinase II in cervical epidermoid carcinoma

Luz Eugenia Alcántara-Quintana
Verónica Gallegos-García
Yolanda Terán-Figueroa

CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

- **Determinantes de la capacidad de innovar en países de la OCDE** 63-72
Determinants of the capacity to innovate of the OECD members

Antonio Favila-Tello
Enrique Armas-Arévalos

REVISIÓN CIENTÍFICA

- **Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana** 73-79
Coffee pulp extracts: A review of polyphenolic antioxidants and their antimicrobial activity

Saira Rocío Martínez-Alemán
Francisco Daniel Hernández-Castillo
Cristóbal Noé Aguilar-González
Raúl Rodríguez-Herrera

- **La vacunación de murciélagos contribuirá a obtener y mantener el estado libre de rabia en las naciones** 80-88
The vaccination of bats will contribute to obtain and maintain the rabies-free state in the nations

Melissa Ruiz-Saldaña

OBITUARIO

- **Roberto Muñoz Guerrero. *In memoriam*** 89-90

Ivonne Bazán-Trujillo
Lorenzo Leija-Salas

RESEÑA

- ***Sentido y gramática en español*** 91-92

Blanca Elena Sanz-Martin

Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México

Economic and financial feasibility of an aquaponic production system of tilapia, lettuce and river prawn in Delicias, Chihuahua, Mexico

Dulce María Calderón-García*, Jesús Miguel Olivas-García*✉, Concepción Luján-Álvarez*, Susana Hilda Ríos-Villagómez*, Javier Hernández-Salas*

Calderón-García, D. M., Olivas-García, J. M., Luján-Álvarez, C., Ríos-Villagómez, S. H., & Hernández-Salas, J. (2019). Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 5-11.

RESUMEN

La escasez de agua causa incertidumbre respecto al futuro desarrollo económico de la agricultura y ganadería, las superficies de siembra se han reducido significativamente y la demanda de alimentos es cada vez mayor. En tal sentido, la acuaponía se presenta como una alternativa, ya que es un sistema que combina la acuacultura y la hidroponía para la producción de alimentos, a la vez que se hace uso eficiente del agua dulce. El presente estudio evaluó la factibilidad de producir lechuga romana (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia*) en un sistema acuapónico, asociado al cultivo semiintensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) y langostino de río (*Macrobrachium rosenbergii* D.) en Delicias, Chihuahua. Se concluye que se obtiene una ganancia promedio de 50 centavos por cada peso invertido a partir del segundo año de operaciones.

Palabras clave: acuaponía; hidroponía; rentabilidad; recirculación; alimentos; sustentable.

Key words: aquaponics; hydroponics; profitability; recirculation; food; sustainable.

Recibido: 17 de julio de 2018, aceptado: 4 de marzo de 2019

* Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua. Km 2.5 Carretera Delicias-Rosales, Delicias, Chihuahua, México. Correo electrónico: kandi_calgar@hotmail.com; jolivas@uach.mx; clujan12@hotmail.com; srios@uach.mx; jhernans@uach.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5906-6889>; <http://orcid.org/0000-0001-9657-5818>; <http://orcid.org/0000-0002-5869-766X>; <http://orcid.org/0000-0002-1085-7855>; <http://orcid.org/0000-0001-5846-915X>

✉ Autor para correspondencia

Con base en lo anterior, si sería factible producir las especies estudiadas en un sistema acuapónico.

ABSTRACT

Water scarcity causes uncertainty for the future regarding the economic development of agriculture and livestock. Planting areas are reducing significantly and food demand is increasing. In this sense, aquaponics is an alternative, due it combines aquaculture and hydroponics for food production, while making efficient use of fresh water. The present study evaluated the feasibility of producing romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia*) in an aquaponic system, associated to the semi-intensive cultivation of tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) and river prawn (*Macrobrachium rosenbergii* D.) in Delicias, Chihuahua. In conclusion, you get an average profit of 50 cents for each Mexican peso invested as of the second year of operations. Therefore, it would be feasible to produce the species in an aquaponic system.

INTRODUCCIÓN

La disminución en la disponibilidad de agua potable y el incremento en la necesidad de abastecimiento de alimentos son temas que cada vez adquieren mayor importancia. Un gran número de las unidades agrícolas productivas con riego no utilizan tecnología que optimice el uso del agua (FAO, 2000, 2014). Stover (2009) considera que la hidroponía, en

sistemas cerrados, y la acuaponía, cuyo propósito es la producción de alimentos, son innovaciones amigables con el medio ambiente. Además, indica que la acuaponía permite la limpieza del agua en el proceso productivo al aprovechar la excreta de los organismos acuáticos antes de la descomposición bacteriana, transformándola en nutrientes para el crecimiento de plantas y alimento para los langostinos de río.

La acuicultura, también llamada acuacultura, aporta 50% del pescado destinando a la alimentación en el mundo, con tasas anuales de crecimiento de 4.13% en los últimos años, por lo que contribuye a enfrentar el incremento de la población y del consumo de pescado per cápita, que en 2012 fue mayor a 19 kg anuales (FAO, 2018).

Rakocy (1999) señala que todo sistema acuapónico se enfoca en la producción, rentabilidad y el tratamiento de desechos, la considera una técnica novedosa y productiva, característica importante por la necesidad actual de conservar agua y a su vez producir alimentos nutritivos a un bajo costo y libres de químicos nocivos para la salud. Adicionalmente, la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB, 2018) reporta que este sistema pudiera utilizarse para la producción simultánea de varias especies hortícolas como se muestra en la figura 1, con lo cual es posible producir diferentes alimentos animales y vegetales con la misma agua y nutrientes.



Figura 1. Policultivos en sistema acuapónico. Ejemplo de la producción simultánea de varias especies hortícolas en un mismo sistema acuapónico. Fotografía tomada de UPB (2018).

El municipio de Delicias, Chihuahua se ubica en el Desierto Chihuahuense, tiene una precipitación media anual de 294.7 mm (INAFED, s. f.) y, aunque actualmente no existen referencias publicadas, se menciona que presenta un grave problema de salinización de los mantos acuíferos propiciado, entre otras razones, por la sobre explotación de pozos, lo cual trae como consecuencia la reducción de superficies de siembra.

El presente estudio evaluó la factibilidad de implementar el cultivo de lechuga romana (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia*) en un sistema acuapónico, asociado al cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) y langostino de río (*Macrobrachium rosenbergii* D.) en Delicias, Chihuahua, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el municipio de Delicias, Chihuahua, México; importante centro agrícola y punto estratégico con respecto a otros municipios de la zona por encontrarse en el centro del estado de Chihuahua y relativamente cercano a la frontera con EE. UU. Además, se considera que tiene potencial para la producción de alimentos frescos y de calidad tales como tilapia, lechuga y langostino de río, por contar con condiciones climáticas favorables para el desarrollo de dichas especies.

Se realizó un estudio de mercado, para lo cual se aplicaron 96 encuestas a jefas de familia con la finalidad de conocer la demanda potencial de los productos a elaborar y así determinar la capacidad requerida para el sistema productivo. El tamaño de la muestra se determinó con base en la fórmula para población finita de Murray y Larry (2009), con un error de muestreo de 10% y una significancia de $\alpha = 0.05$. Se realizó un muestreo aleatorio simple para recopilar la información, la cual fue capturada y procesada en el software R Studio versión 3.3.2. Igualmente, se determinó la infraestructura necesaria para el sistema acuapónico y se describió el funcionamiento de este, conforme a lo descrito por Caló (2011).

Por otra parte, conforme a la metodología de formulación y evaluación de proyectos de inversión (Baca Urbina, 2010), se detalló la tecnología necesaria para la construcción del sistema acuapónico, se determinaron los costos totales e infraestructura para la estimación de la inversión inicial, costos de

producción, administración, venta y capital de trabajo. Para la evaluación económica y financiera se analizó la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y la relación beneficio-costos (B/C), con lo cual, empleando los criterios del Grupo Banco Mundial (2017), se evaluó la viabilidad y factibilidad económica del proyecto.

Para identificar el comportamiento de los ingresos y egresos de las especies estudiadas (tilapia, lechuga y langostino de río), se elaboró un flujo de caja del proyecto en un horizonte de 10 años. Asimismo, para los indicadores financieros se utilizó una tasa de 10% en el análisis de sensibilidad bajo tres posibles situaciones, afectando ventas y costos de operación. Se aplicó igualmente un aumento en la tasa de 20% para el cálculo del VAN, que incrementa ventas y costos en 5%.

RESULTADOS

Estudio de mercado

Se identificó que 67% de las familias del municipio de Delicias consumen filete de tilapia, 52% lechuga, y solo 46% conoce el langostino de río; sin embargo, 53% de las jefas de familia manifiestan la posibilidad de consumirlo en sus hogares una vez que lo conozcan. En la tabla 1 se muestran los posibles

factores que impactan en la demanda de cada uno de los productos estudiados.

De acuerdo con los resultados obtenidos se requiere producir anualmente la cantidad de 18.8 t de tilapia, 46,233 cabezas de lechuga y 1,680 kg de langostino de río. En la tabla 2 se observan las cantidades necesarias para producir por ciclo productivo, con una duración de 3 a 3.5 meses cada uno, de acuerdo con lo reportado por Calderón García et al. (2018).

Infraestructura necesaria. Para lograr la anterior producción se requieren dos estanques de geo membrana y cuatro estructuras para camas hidropónicas, entre otros insumos (figura 2), lo cual implica una inversión total de \$1,582,572.00.

El sistema NFT (Nutrient Film Technique) se conforma por dos contenedores (piletas) con capacidad de 18,600 l de agua y una cama nutritiva con capacidad de 3,853 plántulas para la producción de hortaliza por ciclo productivo, implementado en un área de 45 m², y se emplean bombas para la recirculación del agua en los contenedores. En el sistema acuapónico, el agua sale del tanque de peces donde se contienen los desechos metabólicos de las especies acuáticas. El

Tabla 1
Motivos de bajo consumo de tilapia, langostino de río y lechuga en Delicias, Chihuahua, México

Motivo	Tilapia (%)	Langostino de río (%)	Lechuga (%)
No gusta	18.75	17.78	36.96
Poca frescura	43.75	35.56	54.35
Precio alto	37.50	26.67	8.70
Falta de información	No aplica	48.08	No aplica
Poca presencia en el mercado	No aplica	51.92	No aplica

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2
Requerimientos de producción de tilapia, langostino de río y lechuga por ciclo en Delicias, Chihuahua, México

Producto	Consumos con mayor demanda (%)	Cantidad necesaria	Producción por ciclo (De 3 a 3.5 meses)
Tilapia	32.29	12,540 alevines	6,270 kg
Lechuga	25.00	7,705 plantas	7,705 cabezas
Langostino de río	41.86	1,425 alevines	560 kg

Nota: Elaboración propia con datos de Calderón García et al. (2018).

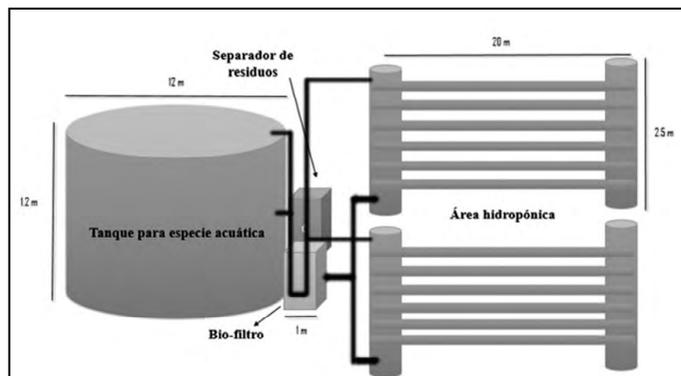


Figura 2. Diseño del sistema productivo bajo acuaponía.
 Nota: Elaboración propia.

agua primero pasa a través de un filtro mecánico que captura los residuos sólidos y posteriormente atraviesa un filtro que oxida el amoníaco a nitrato. Después, el agua viaja a través de la raíz de las plantas del cultivo (camas), donde estas absorben los nutrientes, y finalmente retorna agua purificada al tanque de peces, apoyada la circulación por bombas de agua.

Por otra parte, en cada tubo, con una separación de 25 cm entre cada plántula de lechuga, se mantienen 20 plantas. Así, la producción por ciclo productivo corresponde a 7,705 cabezas de lechuga, considerando que por cada ciclo de las especies acuáticas son dos de la especie hortícola. En el sistema es posible mantener a 12,540 alevines de tilapia anualmente, que se cosechan con un peso promedio de 500 g por ciclo productivo, con una duración de 3 a 3.5 meses por ciclo. Esto corresponde a 33 tilapias por m³. A la par se logra la engorda de 1,425 alevines de langostino anualmente, con un

peso promedio de 390 g cada uno, de modo que se tienen 11 langostinos por m³. Bajo estas condiciones, para el análisis económico y financiero se consideró una tasa de mortandad de 3% en las tres especies. Los costos de los elementos requeridos para la implementación del sistema productivo se presentan en la tabla 3.

Estudio económico y financiero

En la tabla 4 se muestran los resultados de los indicadores financieros analizados de acuerdo con lo descrito previamente en el apartado referente a materiales y métodos.

Tabla 3
 Inversión inicial para el sistema acuapónico

Concepto	Costo Total (M. N.)
Diseño del sistema acuapónico	\$45,000.00
Construcción del sistema	\$20,000.00
Capacitación a trabajadores	\$8,000.00
Renta de terreno (anual) (400 m ²)	\$287,070.00
Requerimientos para producción hortícola (lechuga)	\$27,005.00
Requerimientos para producción acuícola (tilapia, langostino de río)	\$129,036.00
Costos de producción	\$629,569.00
Costos fijos	\$327,240.00
Costos de energía eléctrica	\$109,652.00
TOTAL	\$1,582,572.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 4
 Cálculo de indicadores financieros en un sistema acuapónico

Indicadores financieros	Aumento en CO ¹ (15%)	Aumento en CO (10%) y Disminución en ventas (10%)	Disminución en ventas (10%)	Aumento en tasa (20%)
VAN ² (\$)	37,538	42,699	20,263	45,856
TIR ³ (%)	73	63	54	84
Relación B/C ⁴	1.36	1.46	1.22	1.98
Flujo de caja (%)	2.37	2.69	1.28	2.98

Nota: 1CO: Costos de Operación; 2VAN: Valor actual neto; 3TIR: Tasa interna de retorno; 4Relación Beneficio-Costo. Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Estudio de mercado

La demanda potencial de las tres especies estudiadas muestra que existe un mercado atractivo para el sistema acuapónico propuesto, principalmente para la tilapia, de la cual, de acuerdo con CEC-ITAM (2006), la presentación en filete fresco es la más aceptada por el consumidor. Además, al ser la sexta especie en el consumo de pescado en EE. UU. (Arosamena-Villarreal, 2009), abre la posibilidad de aprovechar el mercado y obtener ventaja geográfica por la cercanía en la que se encuentra Delicias con respecto al mercado estadounidense, que de acuerdo con Josuepeit (2006) y FAO (2018), es el principal importador mundial, con aproximadamente 46,700 t anuales.

Por otra parte, el langostino de río se incluyó en el sistema para que actúe como limpiador al alimentarse de los residuos y excretas de la tilapia, lo cual lo hace atractivo para su producción y posible comercialización en la zona de estudio, ya que contribuye a hacer más eficiente el uso de la infraestructura y la conversión de alimento (Villarreal Colmenares & Naranjo Páramo, 2008). De igual manera, Tidwell, Coyle y Bright (2010) reportan que estos sistemas contribuyen a que la tilapia mantenga bajas densidades de fitoplancton y de pH e incrementa la producción comparándola con la que se logra en monocultivos. Sin embargo, el

langostino de río, rico en nutrientes, no se consume en Delicias por falta de información y ausencia en el mercado local.

Adicionalmente, la poca frescura de la lechuga ofertada en el mercado y el precio alto del filete de tilapia, impactan negativamente en la cantidad adquirida por las familias, como se muestra en la tabla 1. Existe una oportunidad de mercado en productos frescos y de alta calidad mediante el sistema acuapónico, lo cual coincide con lo reportado por Range & Range (2005).

Estudio económico y financiero

El escenario optimista, con un aumento en ventas, bajos costos y una tasa de 20%, proporciona un flujo de caja de 2.89% con respecto a la inversión y una ganancia de 98 centavos por cada peso invertido (tabla 4). Se garantiza la recuperación al presentar una TIR elevada. En el caso opuesto, al aumentar los costos de operación y obtener una disminución en las ventas de 10%, es posible obtener una ganancia de 46 centavos, y un flujo de caja de 2.69%, por lo que los sistemas acuapónicos son alternativas factibles al emplear la totalidad de los insumos requeridos en la construcción y procesamiento.

Con fines ilustrativos, se muestran en la tabla 5 las características detectadas que diferencian a tres sistemas productivos de la acuaponía, según entrevistas a productores del estado de Sinaloa,

Tabla 5
Comparativo de las características en tres sistemas productivos

Concepto	Sistema Tilapia	Sistema Camarón	Sistema Acuapónico
Costo de inversión inicial ha ⁻¹	>\$200,000.00	>\$250,000.00	>\$150,000.00
Presentan control de plagas y enfermedades	No	No	Sí
Desperdicio de alimento	Sí	Sí	No
Desperdicios en estanques	Sí	Sí	No
Periodo de cosecha	> 3.5 meses	> 4 meses	3 meses
Calidad de productos	Buena	Buena	Buena
Tiempo para observar ganancias	< 2 años	< 2 años	< 2 años
Amigable con el medio ambiente	No	No	Sí
Ambiente controlado	Algunos	No	Sí
Monitoreo	Algunos	Algunos	Sí

Nota: Elaboración propia.

por su importancia en la producción de camarón y tilapia.

Los resultados obtenidos muestran que la acuaponía es una alternativa factible y se coincide así con Rakocy (1999), quien indica que los sistemas acuapónicos son rentables y permiten tratar los desechos de manera eficiente. De igual manera Adler, Harper, Wade, Takeda y Summerfelt (2000), en un sistema de recirculación de trucha arcoíris y lechuga con albahaca dulce, obtuvieron una TIR de 12.5%, mientras que en el presente estudio — sistema acuapónico con tilapias, langostino de río y lechugas—, se obtuvo una tasa interna mayor a 50%. Estos resultados demuestran la rentabilidad y eficiencia en la producción en masa, que además es amigable con el medio ambiente, coincidiendo así con Bogash (1997) y con Diver (2006).

Por otra parte, comparada la acuaponía con otros sistemas productivos, como acuacultura y agricultura, resalta lo siguiente:

- Los sistemas productivos cerrados presentan altos costos de inversión (Wheaton, 1982); sin embargo, la acuaponía, por hacer uso eficiente de los recursos, espacios y menor desperdicio de alimento, tiene la posibilidad de lograr la recuperación de la inversión a partir del segundo año de operaciones.
- Una de las características sobresalientes de la acuaponía, como mencionan Castilblanco e Hidalgo (2009), es la menor dependencia del clima, no existe efecto por variantes del suelo y es más eficiente el control de plagas y enfermedades, en comparación con la acuicultura y la agricultura tradicional.
- Comúnmente no es necesario el empleo de fertilizantes químicos e insecticidas durante el desarrollo del cultivo (Bogash, 1997; Diver, 2006), lo cual permite ahorros en insumos y garantiza alimentos saludables con valor nutrimental. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que si llegara a presentarse alguna enfermedad o plaga, estos podrían propagarse más fácilmente.
- El flujo del proceso acuapónico proporciona los elementos necesarios para que el agua y los nutrientes se encuentren en movimiento (Graber & Junge, 2009) y, por tanto, disponibles para las especies cultivadas.
- Es posible producir alimentos en menor tiempo en comparación con un sistema acuícola, con base

en el control y monitoreo en la alimentación que se proporciona a las especies acuáticas (Adler et al., 2000).

Con base en lo anterior, y de acuerdo con las características climáticas del municipio de Delicias, es posible indicar que es factible la producción de tilapia y langostino de río en tres ciclos al año y seis ciclos de lechuga, esto con duración de tres meses para las especies acuáticas y seis semanas después del trasplante para la hortaliza. Sin embargo, es recomendable seguir realizando estudios in situ antes de implementarlo a nivel comercial.

CONCLUSIONES

La acuaponía puede ser una alternativa viable para la producción de alimentos frescos y nutritivos como filete de tilapia, lechuga y langostino de río de manera sustentable en Delicias, Chihuahua, México.

Al ser sistemas controlados pueden desarrollarse en espacios muy variados, siempre y cuando se tenga acceso a agua y energía eléctrica, y sea posible hacer una inversión inicial en infraestructura acorde con las necesidades del sistema; además de que se facilita el control de plagas y enfermedades en caso de que sea necesario.

El langostino de río es poco conocido por parte de las jefas de familia de Delicias, Chihuahua, lo cual, mediante estrategias de mercado, podría representar una ventana de oportunidad para ser integrado al consumo local.

La recuperación de lo invertido es posible en el segundo año de operaciones, con una ganancia promedio de 50 centavos por cada peso invertido.

Es factible la relación beneficio/costo de un sistema acuapónico con lechugas, tilapias y langostinos en diversos escenarios financieros.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca otorgada al autor principal de la presente investigación para cursar estudios de Posgrado, así como a los revisores anónimos que con sus valiosas observaciones y sugerencias contribuyeron a mejorar la calidad del presente.

REFERENCIAS

- Adler, P. R., Harper, J. K., Wade, E. M., Takeda, F. & Summerfelt, S. T. (2000). Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. *International Journal of Recirculating Aquaculture*, 1(1), 15-34. Recuperado de <https://ejournals.lib.vt.edu/ijra/article/view/1359/1854>
- Arosamena-Villarreal, D. (2009). *Desarrollo de estrategias para la producción y comercialización de productos con valor agregado a partir de tilapia y aprovechamiento de los subproductos resultantes de su procesamiento* (104 pp.). México, D. F.: Comité Sistema Producto Tilapia de México, A. C.
- Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de proyectos* (6ª. ed.). México: Editorial MCGraw-Hill.
- Bogash, S. (1997). *The Freshwater Institute Natural Gas Powered Aquaponic System-Design Manual*. West Virginia, US: The Conservation Fund Freshwater Institute.
- Calderón García, D. M., Olivas García, J. M., Legarreta González, M. A., Carrillo Soltero, M. E., Anchondo Nájera, J. A., & Luján Álvarez, C. (2018). Funcionamiento y viabilidad económica de un módulo de producción acuapónico en Los Mochis, Sinaloa, México. *Custos e @gronegocio online*, 14(3), 131-146. Recuperado de <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/quarenta%20e%20sete.html>
- Caló, P. (2011). *Introducción a la acuaponia*. Argentina: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Recuperado de <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>
- Castilblanco, E., & Hidalgo, J. (2009). *Efecto de dos tratamientos de agua en la producción de lechuga (Lactuca sativa) bajo dos sistemas hidropónicos en piscicultura*. Proyecto Especial del programa de Ingeniero Agrónomo de la Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Honduras: universidad Zamorano. Recuperado de <https://buzonvirtual.zamorano.edu/vufind/Record/RepoBWP-420/Description#tabnav>
- Centro de Estudios de Competitividad-Instituto Tecnológico Autónomo de México. (2006). *Programa Maestro Nacional Tilapia* (354 pp.). México: Autor.
- Diver, S. (2006). *Aquaponics-Integration of Hydroponics with Aquaculture*. North Carolina, US: ATTRA-National Sustainable Agriculture Information Service.
- Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 256(1-3), 147-156.
- Grupo Banco Mundial. (2017). *Manual de préstamos para prestatarios del Banco Mundial* [Documento en pdf]. Washington: Autor. Recuperado de <http://siteresources.worldbank.org/BORROWERPORTAL/Resources/DisbursementHandbookSpanish061107.pdf>
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (s. f.). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México* [Ficha con datos electrónica]. Chihuahua, México: Autor. Recuperado de <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM08chihuahua/municipios/08021a.html>
- Josuepeit, H. (2006). *Aquaculture production and markers*. Rome, Italy: FAO-ONU.
- Murray, R., & Larry, J. (2009). *Estadística* (4ª. ed.). México: McGraw-Hill.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2000). *El riego en América Latina y el Caribe en Cifras*. Informe sobre temas hídricos 20. Roma: Autor. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/08/El-riego-en-america-latina-y-el-caribe-en-cifras.pdf>
- _____ (2014). *Superficie equipada para el riego* [Diagrama en pdf]. Recuperado de http://www.fao.org/nr/water/aquastat/infographics/Irrigation_esp.pdf
- _____ (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2014* [Detalles infográficos]. Recuperado de <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/232019/>
- Rakocy, J. (1999). The status of aquaponics. *Aquaculture Magazine*, Parte 1.
- Range, P., & Range, B. (2005). Aquaponics helps to feed students, staff at orphanage in Reynosa, Mexico. *Aquaponics Journal*, 39, 18-19.
- Stover, S. (2009). Acuaponia: Técnica de producción superintensiva. *Hortalizas*. Recuperado de <http://www.hortalizas.com/miscelaneos/acuaponia-tecnica-de-produccion-superintensiva/>
- Tidwell, J. H., Coyle, S. D., & Bright, L. A. (2010). Polyculture of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, either confined in cages or unconfined in freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 41(4), 616-625. doi: 10.1111/j.1749-7345.2010.00402.x
- Universidad Pontificia Bolivariana. (2018). Acuaponía básica. Muestra de cómo en el sistema puede hacerse policultivos, muchas cosas con la misma agua, mismos nutrientes y misma temperatura [Fotografía]. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperada de <https://www.upb.edu.co/es/formacioncontinua/curso-acuaponia-basica->
- Villarreal Colmenares, H., & Naranjo Páramo, J. (2008). *Cultivo de langosta de agua dulce Cherax quadricarinatus (Redclaw). Una oportunidad para la diversificación de la industria acuícola*. Baja California Sur, México: CIBNOR, S. C. Recuperado de <https://www.cibnor.gob.mx/images/stories/biohelis/pdfs/Cultivo-de-langosta-de-Agua-Dulce-Cherax-quadracarínatus-Redclaw.pdf>
- Wheaton, F. W. (1982). *Aquacultura: Diseño y construcción de sistemas*. México: AGT Editor, S. A.

Importancia del monitoreo de procesos biogeoquímicos en lagunas costeras: Área Natural Protegida estero El Soldado como estudio de caso

The importance of monitoring biogeochemical processes in coastal lagoons: Estero El Soldado Protected Natural Area as a case study

Julio Medina-Galván*✉, Juan Manuel Audelo-Naranjo*, José Alfredo Arreola-Lizárraga**

Medina-Galván, J., Audelo-Naranjo, J. M., & Arreola-Lizárraga, J. A. (2019). Importancia del monitoreo de procesos biogeoquímicos en lagunas costeras: Área Natural Protegida estero El Soldado como estudio de caso. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 12-18.

RESUMEN

Esta contribución presenta estimaciones de los flujos de nutrientes y el metabolismo neto en una laguna costera prístina del Golfo de California. Durante primavera se realizaron muestreos de variables del agua en la laguna y el mar adyacente. Los flujos de nutrientes y el metabolismo neto del ecosistema fueron estimados con el modelo biogeoquímico propuesto por el programa LOICZ (Interacciones Tierra Océano en la Zona Costera). La tasa de renovación del agua fue de 3 días. La laguna El Soldado funcionó como fuente de nitrógeno (+61 mol día⁻¹) y como sumidero de fósforo (-42 mol día⁻¹). El metabolismo neto fue autótrofo (73 mmol C m² mes⁻¹) y dominó la fijación de nitrógeno. Estas observaciones en la laguna El Soldado ayudan al entendimiento de los procesos biogeoquímicos y

exhibe la importancia de su monitoreo a través del ciclo anual, así como en periodos de largo plazo.

ABSTRACT

This contribution presents estimates of nutrient fluxes and net metabolism in a pristine coastal lagoon of the Gulf of California. During spring, water variables were sampled in the lagoon and the adjacent sea. The biogeochemical model proposed by the LOICZ program (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone) estimated the nutrient fluxes and the net metabolism of the ecosystem. The water renewal rate was 3 days. The El Soldado lagoon functioned as a source of nitrogen (+61 mol day⁻¹) and as a phosphorus basin (-42 mol day⁻¹). The net metabolism was autotrophic (73 mmol C m² month⁻¹) and dominated nitrogen fixation. These observations in the El Soldado lagoon, help to understand the biogeochemical processes and show the importance of their monitoring throughout the annual cycle, as well as in long term periods.

Palabras clave: procesos biogeoquímicos; flujos de nutrientes; metabolismo neto del ecosistema; lagunas costeras.

Keywords: biogeochemical processes; nutrients fluxes; net ecosystem metabolism; coastal lagoons.

INTRODUCCIÓN

La biogeoquímica se define como un campo integrador en el cual se estudian los ciclos que incluyen las interacciones entre procesos biológicos, químicos y geológicos (Bianchi, 2007). De esta forma, el estudio de los procesos biogeoquímicos permite conocer las conexiones entre la biósfera, la atmósfera y la hidrósfera, así como las interacciones entre los elementos que las componen (Esteve & Jaén, 2013).

Recibido: 3 de julio de 2018, aceptado: 4 de marzo de 2019

* Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. Paseo Claussen S/N, Apdo. Postal 610, C. P. 82000, Mazatlán, Sinaloa, México. Correo electrónico: jmedinag.facimar@uas.edu.mx; jmaudelo@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1168-9339>; <http://orcid.org/0000-0003-2028-8710>

** Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Km. 2.35 camino al Tular, Estero Bacochibampo, C. P. 85454, Guaymas, Sonora, México. Correo electrónico: aarreola04@cibnor.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0936-8886>

✉ Autor para correspondencia

MATERIALES Y MÉTODOS

En la zona costera la interacción de procesos biológicos, químicos y geológicos determinan los flujos de sedimentos, nutrientes, materia orgánica y contaminantes entre ecosistemas. En particular, las lagunas costeras y estuarios, mediante procesos biogeoquímicos, proporcionan valiosos servicios ecosistémicos como reciclaje de nutrientes, descomposición de materia orgánica y remoción de contaminantes (Barbier et al., 2011; Piehler & Smith, 2011). Estos cuerpos de agua presentan diferentes capacidades para transformar los nutrientes introducidos, debido a sus diferencias en ubicación geográfica (tropical, templada, y otros), superficie, profundidad y tasa de intercambio de agua con el mar adyacente (Dettmann, 2001; Smith et al., 2003).

Los flujos implican tasas de transferencia y se definen como la cantidad de material que se transporta de un cuerpo de agua a otro durante un periodo de tiempo determinado (masa/tiempo; masa/área/tiempo). Un sistema fuente exporta materiales y un sistema sumidero los importa (Bianchi, 2007).

Por otro lado, el metabolismo neto del ecosistema (MNE) se define como la diferencia entre la producción primaria y la respiración de un sistema acuático (Odum, 1969). El MNE es positivo (autótrofo) cuando la producción primaria excede a la respiración y es negativo (heterótrofo) cuando la respiración excede a la producción primaria (Kemp & Testa, 2011).

Un asunto relevante es que mediante modelos biogeoquímicos es posible evaluar las capacidades que tienen los estuarios y lagunas costeras para transformar, acumular y exportar materia disuelta (sal, nutrientes) y también permiten conocer el metabolismo neto del ecosistema (Gordon et al., 1996; Swaney, Smith, & Wulff, 2011), de tal forma que el entendimiento de los flujos de nutrientes y el metabolismo neto a través de modelos biogeoquímicos sencillos puede proveer herramientas para el mejor manejo de la zona costera (Cervantes-Duarte, 2016).

El objetivo del presente estudio fue presentar la estimación de procesos biogeoquímicos mediante un modelo de balance de masas, utilizando como estudio de caso el comportamiento de los flujos de nutrientes y metabolismo neto durante la primavera en el estero El Soldado, área natural protegida del Golfo de California.

Área de estudio

El estero El Soldado es una laguna costera localizada en la costa este del Golfo de California (figura 1). Por su origen geológico se clasifica como tipo III-B: erosión diferencial cañón rocoso inundado (Lankford, 1977). El área de espejo de agua es de 1.6 km², tiene profundidad promedio de 0.60 m y se comunica con el mar a través de una boca de 40 m de ancho y 3 m de profundidad. Las mareas son mixtas con predominancia de semidiurnas (Russell, 1979). La amplitud de marea es de 1 m (Filloux, 1973) y clasifica como laguna micromareal (Davies et al., 1964). El tipo de clima es muy árido y seco. La temperatura promedio anual es de 25 °C. La tasa de precipitación anual es < 300 mm y la mayor parte ocurre en verano (García, 2004). Las escorrentías de lluvias son el único aporte de agua dulce a la laguna.

El estero El Soldado es un área natural protegida del estado de Sonora con la categoría de *zona sujeta a conservación ecológica* (Gobierno del Estado de Sonora, 18 de mayo de 2006).

Trabajo de campo y análisis de muestras

Los muestreos se realizaron en primavera (abril de 2009) con dos campañas, una durante mareas vivas y otra durante mareas muertas. Se establecieron

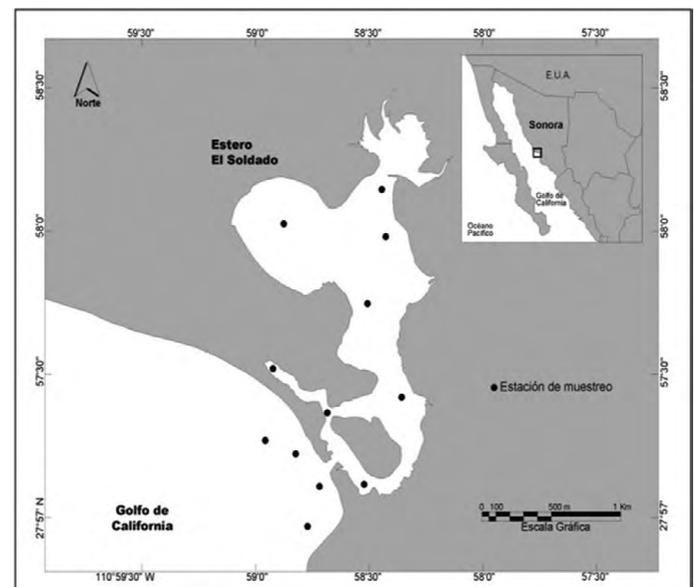


Figura 1. Área de estudio y sitios de muestreo. Elaboración propia.

ocho sitios de muestreo en la laguna y cuatro en el mar adyacente. En cada sitio se registraron *in situ* la temperatura, la salinidad y el oxígeno disuelto del agua con un equipo autónomo multisensor marca Hydrolab modelo Datasonde® y se recolectó una muestra de 1 l de agua subsuperficial en un recipiente de plástico con cierre hermético para determinar la concentración de nutrientes (nitrito, nitrato, amonio y ortofosfatos). Las muestras de agua fueron mantenidas en hielera a ~ 4 °C durante su transporte al laboratorio. Para la determinación de los mencionados nutrientes se filtraron las muestras de agua y se siguieron las técnicas de Strickland y Parsons (1972).

Descripción del modelo biogeoquímico

Los flujos de nutrientes y el metabolismo neto del ecosistema se estimaron mediante el modelo biogeoquímico de Interacciones Tierra Océano en la Zona Costera (LOICZ, por sus siglas en inglés), descrito por Gordon et al. (1996). El modelo se construye en tres etapas: (1) balance de agua, (2) balance de sal, y (3) balance de nutrientes (figura 2). El volumen de mezcla es resultado de los balances de agua y sal, de tal forma que el tiempo de residencia del

agua es obtenido de dividir el volumen del sistema entre el volumen de mezcla.

De acuerdo a la figura 2:

- VQ son aguas residuales agrícolas (en este caso se asumió cero).
- VP son lluvias.
- VG es el aporte del manto freático (en este caso se asumió cero).
- VO son otros aportes (en este caso se asumió cero).
- VE es evaporación.
- VR es el volumen residual, que representa el volumen de agua a compensar.
- SR es la salinidad asociada al flujo residual y representa el promedio entre la salinidad de la laguna El Soldado (SSIS) y la salinidad del mar adyacente (SOCN).
- VX es el volumen de mezcla, que compensa el agua y sal en el balance.
- ΔY es el flujo del material no conservativo (Fósforo Inorgánico Disuelto FID y Nitrógeno Inorgánico Disuelto NID).
- YR es el valor promedio del material no conservativo entre dos fronteras.
- YOCN es el valor promedio del material no conservativo del océano.
- YSIS es el valor promedio del material no conservativo del sistema.

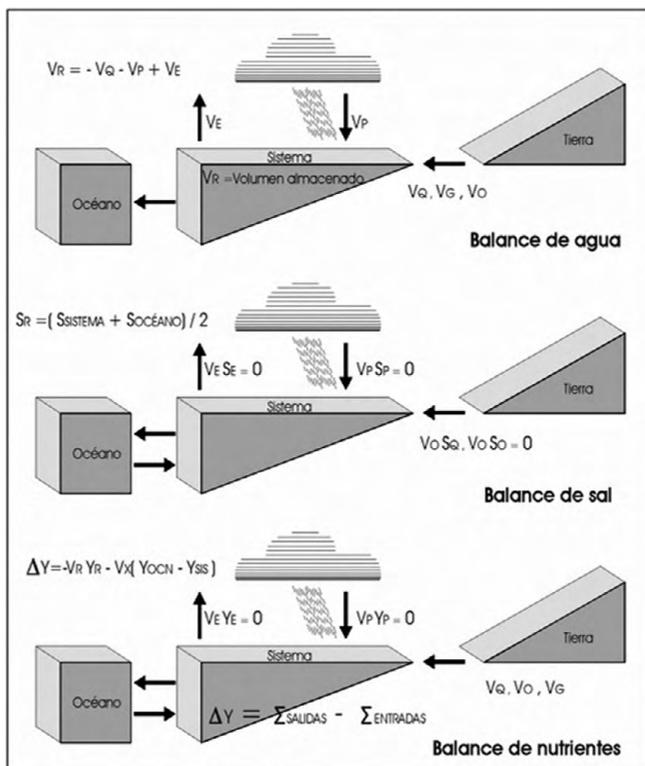


Figura 2. Procedimiento para estimar los balances de agua, sal y nutrientes. Elaboración propia.

Estimación del metabolismo neto, fijación de nitrógeno y desnitrificación

El metabolismo neto del ecosistema (MNE), que representa la diferencia entre la producción primaria (p) y la respiración (r) fue estimado con la siguiente ecuación:

$$(p-r) = -\Delta FID \times (C:P)_{\text{part}}$$

donde:

(C:P)_{part} es la razón carbono a fósforo en la materia orgánica particulada que está siendo reciclada en el sistema. En la estimación se asume el índice molar de Redfield (1934), que corresponde a C:P 106:1.

RESULTADOS

Las variables ambientales del agua, temperatura y salinidad presentaron valores promedios más altos en la laguna con respecto al mar adyacente; las concentraciones de oxígeno disuelto fueron más altas en el mar adyacente; las concentraciones de

Tabla 1
Variables del agua en el estero El Soldado y mar adyacente durante primavera

Variable	Estero El Soldado (n= 16)		Mar adyacente (n= 8)	
	Mín.- Máx.	Prom. ± D. E.	Mín.- Máx.	Prom. ± D. E.
Temperatura °C	19.84 - 25.51	22.40 - 1.98	18.84 - 20.34	19.6 - 0.67
Salinidad ups	36.97 - 39.11	38.10 - 0.72	36.91 - 37.19	37 - 0.11
Oxígeno disuelto mg l ⁻¹	6.67 - 7.81	7.10 - 0.39	7.30 - 8.94	8.20 - 0.61
N-NO ₂ μM	0.02 - 0.13	0.09 - 0.04	0.04 - 0.12	0.08 - 0.03
N-NO ₃ μM	0.07 - 0.31	0.13 - 0.09	0.07 - 0.30	0.12 - 0.10
N-NH ₄ μM	0.18 - 2.63	0.86 - 0.55	0.20 - 1.49	0.68 - 0.44
NID μM	0.40 - 2.88	1.09 - 0.56	0.32-1.49	0.88 - 0.45
FID μM	1.10 - 2.02	1.30 - 0.44	1.10 - 1.85	1.40 - 0.28

Nota: Elaboración propia.

nitrito, nitrato y amonio fueron mayores en la laguna; las de fósforo inorgánico disuelto fueron similares entre la laguna y el mar (tabla 1).

Balance de agua, sal y estimación de la tasa de renovación del agua

El tiempo de renovación de agua estimado fue de 3 días. Los aportes de agua por lluvia son menores que la pérdida por evaporación. En primavera el agua que se evapora es compensada por la que ingresa al sistema desde el mar adyacente, ya que en el período de estudio el aporte de agua dulce por lluvia fue mínimo. La laguna no tiene aportes de agua por ríos ni tampoco por fuentes antropogénicas (tabla 2).

Tabla 2
Características hidrológicas de la laguna El Soldado

Concepto	Laguna EL Soldado
Superficie (km ²)	1.85
Profundidad (m)	0.6
Volumen del sistema (m ³)	1,110,000
Precipitación (m ³ día ⁻¹)	37
Evaporación (m ³ día ⁻¹)	-9,515
Volumen de mezcla (m ³ día ⁻¹)	335,658
Tiempo de residencia (días)	3
Otros aportes (m ³ día ⁻¹)	0
Aporte del mar al sistema (m ³ día ⁻¹)	9,478

Nota: Elaboración propia.

Flujos de nutrientes

Los flujos de NID (nitrógeno inorgánico disuelto) mostraron que la laguna El Soldado exportó hacia el mar adyacente funcionando como fuente. Los flujos de FID (fósforo inorgánico disuelto) mostraron ingreso desde el mar adyacente hacia la laguna y esta funcionó como sumidero (figura 3).

Metabolismo neto del ecosistema

El metabolismo neto del ecosistema fue autótrofo, lo cual indica que el estero El Soldado está fijando carbono a través de la productividad primaria a una razón de 73.8 mmol C m² mes⁻¹ y la fijación de nitrógeno excedió a la desnitrificación a una tasa de 12 mmol m² mes⁻¹, las que se indican en la tabla 3.

Tabla 3
Metabolismo neto y fijación-desnitrificación del estero

Procesos (Unidades)	MNE	Fij-Desnit
mmol C m ² mes ⁻¹	73.8	-
mmol m ² mes ⁻¹	-	12
Condición	Autótrofo	Fijación

Nota: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

La estimación de flujos de nutrientes y del metabolismo neto durante condiciones de primavera en la laguna El Soldado (figura 4) mostró que este ecosistema se comportó como fuente de nitrógeno, como sumidero de fósforo y exhibió un metabolismo autótrofo. En particular la temperatura

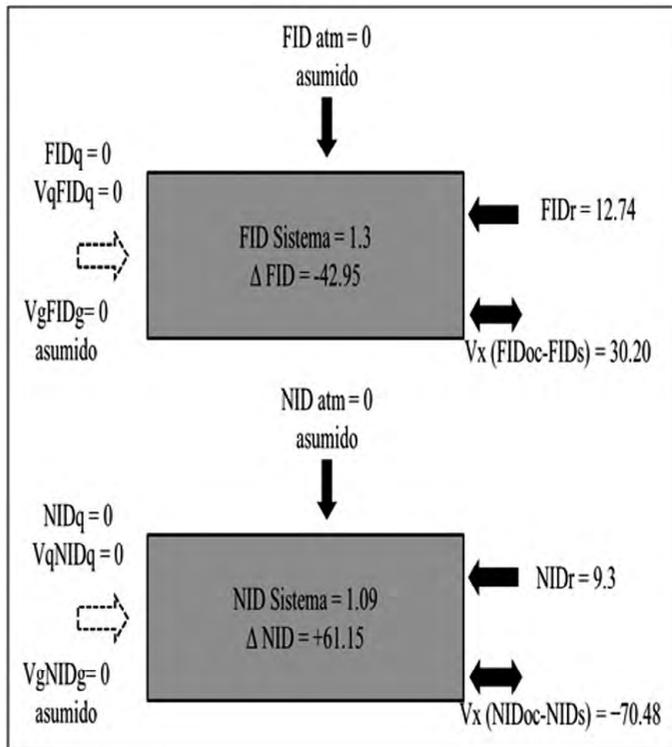


Figura 3. Flujos de nitrógeno y fósforo en el estero El Soldado. Flujos de nutrientes en mol día^{-1} . (+) indica fuente, (-) indica sumidero. Elaboración propia.

del agua observada en la laguna es resultado del intercambio de calor con la atmósfera, donde la variación anual de temperatura es extremosa por ser una región árida $> 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ (García, 2004), y debido a que la laguna es somera (profundidad promedio 0.6 m) existe un rápido calentamiento o enfriamiento de la columna de agua determinados por los cambios diarios y estacionales de irradiación solar.

La salinidad del agua en la laguna fue mayor a la observada en el mar adyacente debido al escaso aporte de agua dulce por precipitación ($< 300\text{ mm año}^{-1}$) y alta evaporación ($\sim 3,000\text{ mm año}^{-1}$). Los estuarios y lagunas costeras con intervalo de salinidad de 30-40 ups son clasificados como sistemas eurihalinos (Contreras-Espinoza & Warner, 2004) y con base en los valores de salinidad observados, la laguna El Soldado corresponde a un sistema eurihaliño. Los valores de oxígeno disuelto $> 6\text{ mg l}^{-1}$ indicaron que es un sistema bien mezclado en primavera como resultado de la tasa de renovación de agua observada de ~ 3 días.

Las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto en el agua fueron más altas en la laguna

que en el mar adyacente y las de fósforo inorgánico disuelto resultaron similares entre ambos sistemas. Estas concentraciones observadas son características de primavera en lagunas costeras del Golfo de California (Arreola-Lizárraga et al., 2016).

Un factor importante del modelo biogeoquímico aplicado en este estudio es la estimación del tiempo de residencia o tasa de renovación del agua de la laguna (Gordon et al., 1996), la cual fue estimada en 3 días; este corto periodo es propiciado por las tasas de evaporación y el intercambio de agua con el mar adyacente por efecto de la marea, lo que implica que la laguna tiene buena capacidad de dilución y asimilación de nutrientes. Las tasas de renovación del agua de pocos días es característico en lagunas pequeñas cuyo volumen de agua se intercambia relativamente rápido con el mar adyacente mediante el flujo y reflujo de mareas (Smith et al., 2005).

En primavera, los flujos de nitrógeno mostraron que la laguna funcionó como fuente y exportó nutrientes al mar, el origen de este nitrógeno se atribuye al reciclaje interno por la remineralización de materia orgánica, tal como fue observado por Arreola-Lizárraga, Padilla-Arredondo, Garatuzapayán y Ruiz-Ruiz (2015), Medina-Galván, Padilla-Arredondo y Arreola-Lizárraga (2018), así como por Valenzuela-Siu, Arreola-Lizárraga, Sánchez-Carrillo y Padilla-Arredondo (2007) en otras lagunas de esta región del Golfo de California. Los flujos de fósforo indicaron que la laguna funcionó como sumidero, explicado por las concentraciones altas de ortofosfato en el mar que sugieren ser un suministro importante de fósforo desde el mar a la laguna en primavera. Un proceso similar fue observado en la laguna Las Marites en época de secas (López-Monroy & Troccoli-Ghinaglia, 2017).

El balance entre producción primaria y respiración en la laguna mostró que el metabolismo neto fue autótrofo en primavera, donde la producción primaria predominó ligeramente sobre la respiración a una tasa de $73.8\text{ mmol C m}^{-2}\text{ mes}^{-1}$; este equilibrio entre autotrofia y heterotrofia se atribuyó a los procesos biogeoquímicos internos y al corto tiempo de renovación del agua que presentó la laguna. Esto coincide con lo observado por Kemp y Testa (2011) en el sentido de que las tasas rápidas de renovación del agua regulan el equilibrio entre fotosíntesis y respiración.

Los procesos de fijación de nitrógeno y desnitrificación indicaron que dominó la fijación a una tasa de $12 \text{ mmol m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$, estos resultados coinciden con lo observado en la laguna costera Algodones durante primavera (Arreola-Lizárraga et al., 2015), ubicada también en esta región del Golfo de California y la dominancia de la fijación de nitrógeno es un proceso que ha sido observado frecuentemente en lagunas costeras poco profundas (Smith & Atkinson, 1994).



Figura 4. Área de estudio. Fotografía del equipo de investigación.

CONCLUSIONES

En primavera las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto en la laguna El Soldado fueron mayores con respecto a las observadas en el

mar adyacente. Las concentraciones de fósforo inorgánico disuelto presentaron valores similares comparados con las del mar. La tasa de renovación del agua fue de 3 días. La laguna El Soldado funcionó como fuente de nitrógeno inorgánico disuelto y como sumidero de fósforo. El metabolismo neto fue autótrofo y dominó la fijación de nitrógeno. La estimación de los flujos de nutrientes y del metabolismo neto en la laguna El Soldado ayuda al entendimiento de los procesos biogeoquímicos y exhibe la importancia de su monitoreo a través del ciclo anual, así como en periodos de largo plazo. Un análisis comparativo del comportamiento de procesos biogeoquímicos entre lagunas costeras prístinas y receptoras de aguas residuales aportaría información útil para apoyar la gestión ambiental de estos valiosos ecosistemas costeros.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al personal técnico del CIBNOR, S. C. campus Guaymas María del Refugio López (análisis de muestras), Andrés Hernández (trabajo de campo), Gustavo Padilla (asesoría en el procesamiento del modelo LOICZ) y David Urías (elaboración de figuras); a los guardaparques del Área Natural Protegida estero El Soldado por su apoyo en el campo; al personal directivo de la Comisión de Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora por todas las facilidades otorgadas para realizar el estudio. El presente estudio se realizó con financiamiento del proyecto 900-252 del CIBNOR. Julio Medina agradece al CONACyT por la beca 769282 otorgada para realizar estudios de doctorado.

REFERENCIAS

- Arreola-Lizárraga, J. A., Padilla-Arredondo, G., Garatuzapayán, J., & Ruiz-Ruiz, T. M. (2015). Síntesis de procesos biogeoquímicos en la laguna costera La Luna, México (pp. 296-304). *X Congreso de Ciencias del Mar MARCUBA*.
- Arreola-Lizárraga, J. A., Padilla-Arredondo, G., Medina-Galván, J., Méndez-Rodríguez, L., Mendoza-Salgado, R., & Córdoba-Matson, M. V. (2016). Analysis of hydrobiological responses to anthropogenic and natural influences in a lagoon system in the Gulf of California. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 45(1), 112-120.
- Barbier, E. B., Hacker, S. H., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169-193.
- Bianchi, T. S. (2007). *Biogeochemistry of estuaries* (720 pp.). New York: Oxford University Press.
- Cervantes-Duarte, R. (2016). Nutrient fluxes and net metabolism in a coastal lagoon SW peninsula of Baja California, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 4(2), 104-115.
- Contreras-Espinoza, F., & Warner, B. G. (2004). Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia*, 511, 233-245.
- Davies, J. L., Davies, J. L., Davies, J. H., Davies Gideon, J., Davies, L., & Davies, M. (1964). A morphogenic approach to world shorelines. *Zeitschrift für geomorphologie*, 8, 27-42.
- Dettmann, E. H. (2001). Effect of water residence time on annual export and denitrification of nitrogen in estuaries: A model analysis. *Estuaries*, 24, 481-490.

- Esteve, P., & Jaén, M. (2013). El papel de los ciclos biogeoquímicos en el estudio de los problemas ambientales en Educación Secundaria. *Investigación en la escuela*, 80, 77-88.
- Filloux, J. H. (1973). Tidal patterns and energy balance in the Gulf of California. *Nature*, 243, 217-221.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (246 pp.). México, D. F.: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gobierno del Estado de Sonora. (18 de mayo de 2006). Declaratoria que establece área natural protegida bajo categoría zona sujeta a conservación ecológica donde se encuentra el estero El Soldado y áreas aledañas. *Boletín Oficial*, 177(40).
- Gordon, D. C. Jr., Boudreau, P. R., Mann, K. H., Ong, J. E., Silvert, W. L., Smith, S. V., ...Yanagi, T. (1996). LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines. *LOICZ Reports & Studies*, 5, 1-96.
- Kemp, W. M., & Testa, J. M. (2011). Metabolic balance between ecosystem production and consumption. En E. Wolanski, & D. McLusky (Eds.), *Treatise on estuarine and coastal science* (pp. 83-118). New York: Academic Press.
- Lankford, R. R. (1977). Coastal lagoons of Mexico, their origin and classification. En M. Wiley (Ed.), *Estuarine Processes* (pp. 182-215). New York: Academic Press.
- López-Monroy, F., & Troccoli-Ghinaglia, L. (2017). Modelaje de la interacción entre la laguna costera tropical las Marites (Isla de Margarita, Venezuela) y el mar Caribe adyacente. *Saber*, 29, 534-545.
- Medina-Galván, J., Padilla-Arredondo, G., & Arreola-Lizárraga, J. A. (2018). Flujos de nutrientes y metabolismo neto del estero Siuti (eurihalino, subtropical) en el Golfo de California. En: F. Paz, A. Velázquez, & M. Rojo (Eds.), *Serie Síntesis Nacionales: Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2018* (pp. 302-308, 678 pp.). Estado de México, México: Programa Mexicano del Carbono-Instituto Tecnológico de Sonora.
- Odum, E. P. (1969). The strategy of ecosystem development. *Science*, 164, 262-270.
- Piehler, M. F., & Smyth, A. R. (2011). Habitat-specific distinctions in estuarine denitrification affect both ecosystem function and services. *Ecosphere*, 2(1), 1-17.
- Redfield, A. C. (1934). On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. En *James Jhonstone Memorial Volumen* (pp. 176-192). Liverpool, England: University Press of Liverpool.
- Russell, G. A. (1979). *A seventeen month study of the meteorology, geology, hidrology and water chemistry of Laguna (estero) El Soldado, Guaymas, Sonora, México* (146 pp.) Tech. Rep. Manitoba, Canadá: University of Manitoba.
- Smith, S. V., & Atkinson, M. J. (1994). Mass balance of nutrient fluxes in coastal lagoons. En B. J. Kjerfve (Ed.), *Coastal lagoon processes* (pp. 133-155). New York: Elsevier.
- Smith, S. V., Buddemeier, R. W., Wulff, F., Swaney, D. P., Camacho-Ibar, V. F., David, L. T., ... Sandhei, P. (2005). C, N, P fluxes in the coastal zone. En C. J. Crossland, H. H. Kremer, H. J. Lindeboom, J. I. Marshall-Crossland, & M. D. A. Le Tissier (Eds.), *Coastal Fluxes in the Anthropocene* (pp. 95-143). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Smith, S. V., Swaney, D. P., Talaue-McManus, L., Bartley, J. D., Sandhei, P. T., McLaughlin, C. J., ... Wulff, F. (2003). Humans, hydrology, and the distribution of inorganic nutrient loading to the ocean. *Bioscience*, 53(3), 235-245.
- Strickland, J. D. H., & Parsons, T. R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis* (2ª. ed., pp. 71-80, 49-52, 263-266). Ottawa, Canada: Fisheries Research Board.
- Swaney, D. P., Smith, S. V., & Wulff, F. (2011). The LOICZ Biogeochemical Modeling Protocol and its application to estuarine ecosystems. En E. Wolanski, D. McLusky, D. Baird, & A. Mehta (Eds.), *Estuarine and Coastal Ecosystem Modeling* (pp. 135-160). Amsterdam, Netherlands: Academic Press.
- Valenzuela-Siu, M., Arreola-Lizárraga, J. A., Sánchez-Carrillo S., & Padilla-Arredondo, G. (2007). Flujos de nutrientes y metabolismo neto de la laguna costera Lobos, México. *Hidrobiológica*, 17(3), 193-202.

Inhibición de *Enterobacter cloacae* por *Bifidobacterium longum*

Inhibition of *Enterobacter cloacae* by *Bifidobacterium longum*

María Porfiria Barrón-González*✉, Carlos Mireles-Rangel*, Fabiola Lizeth Cuéllar-Guevara*, Daniel J. Eguiarte-Lara**, Yadira Quiñones-Gutiérrez*

Barrón-González, M. P., Mireles-Rangel, C., Cuéllar-Guevara, F. L., Eguiarte-Lara, D. J., & Quiñones-Gutiérrez, Y. (2019). Inhibición de *Enterobacter cloacae* por *Bifidobacterium longum*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 19-26.

RESUMEN

Enterobacter cloacae forma parte de la microbiota intestinal en humanos, pertenece al phylum de las Proteobacterias, familia Enterobacteriaceae, género *Enterobacter*, especie *E. cloacae*; se caracteriza por ser ubicua, oportunista, fármaco-resistente y responsable de bacteriemias e infecciones nosocomiales, por lo que se hace necesaria la búsqueda de alternativas para su tratamiento y control. En este trabajo se muestra evidencia de la inhibición del crecimiento de *E. cloacae* empleando metabolitos bacterianos o sobrenadantes libres de células (también conocidos como postbióticos) producidos por *Bifidobacterium longum* (probiótico que pertenece al filo Actinobacteria); varios trabajos demuestran la importancia de estos para

Palabras clave: *Bifidobacterium longum*; *Enterobacter cloacae*; probióticos; postbióticos; microbiota; interferencia microbiana.

Keywords: *Bifidobacterium longum*; *Enterobacter cloacae*; probiotics; postbiotics; microbiota; microbial interference.

Recibido: 11 de mayo de 2018, aceptado: 4 de marzo de 2019

* Departamento de Biología Celular y Genética, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Pedro de Alba S/N cruz con Av. Manuel L. Barragán, Ciudad Universitaria, C. P. 66455, Nuevo León, México. Correo electrónico: maria.barrongn@uanl.edu.mx; miraca010176@gmail.com; fabiola.cuellar13@gmail.com; yadiragt70@hotmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8386-444X>; <http://orcid.org/0000-0003-2621-8887>; <http://orcid.org/0000-0001-9993-1830>; <http://orcid.org/0000-0002-7608-4175>

** Departamento de Microbiología e Inmunología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Pedro de Alba S/N cruz con Av. Manuel L. Barragán, Ciudad Universitaria, C. P. 66455, Nuevo León, México. Correo electrónico: daneguiarte@yahoo.com.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4342-4175>

✉ Autor para correspondencia

inhibir el crecimiento de diversos microorganismos patógenos. En este trabajo se evaluó el liofilizado de los postbióticos de *B. longum*, observándose un 99% de inhibición de *E. cloacae* en cultivos in vitro. Estos resultados se suman a las diversas investigaciones con probióticos encaminados al tratamiento y prevención de infecciones ocasionadas por *E. cloacae*.

ABSTRACT

Enterobacter cloacae belongs to the proteobacteria phylum (one of the most abundant in the human gut microbiota), Enterobacteriaceae family, Genus *Enterobacter* and species *Enterobacter cloacae*. This bacterium is ubiquitous, opportunistic, resistant to antibiotics and responsible for bacteremia and nosocomial infections, this fact make us search for different treatment and alternatives of control. This work proposes a control of *E. cloacae* growth inhibition, which is achieved by using bacterial metabolites or cell-free supernatants (also known as postbiotics) produced by *Bifidobacterium longum* (probiotic belonging to the Actinobacteria phylum); several works have shown that relevance growth inhibition of different pathogenic microorganisms. The *B. longum* postbiotic lyophilisate have shown 99% of inhibition on in vitro *E. cloacae* cultures. These results add to various investigations with probiotics aimed at the treatments and prevention of infections caused by *E. cloacae*.

INTRODUCCIÓN

La resistencia que presentan las bacterias del género *Enterobacter* a los antibióticos betalactámicos (ampicilina, amoxicilina y las cefalosporinas de

tercera generación) es inducida por la hiperexpresión de la beta-lactamasa cromosomal (Livermore, 1998).

La OMS (WHO, por sus siglas en inglés) publicó en 2017 la lista mundial prioritaria de bacterias resistentes a los antibióticos para orientar la investigación, el descubrimiento y el desarrollo de nuevos antibióticos contra microorganismos como *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* y bacterias de la familia Enterobacteriaceae, resistentes a los carbapenémicos, productoras de beta-lactamasa de espectro extendido (BLEE) y bacterias multirresistentes a las cefalosporinas de tercera generación (WHO, 2017).

Las bacterias de la familia Enterobacteriaceae son responsables de 30 a 35% de todas las septicemias, más de 70% de todas las infecciones del tracto urinario e intestinales (Murray, Rosenthal, & Pfaller, 2006). A la familia de las enterobacteráceas pertenece *Enterobacter cloacae*, esta bacteria es un bacilo Gram negativo, oxidasa negativo y catalasa positivo, la cual se encuentra como microbiota habitual en el aparato digestivo del humano.

La mayoría de las infecciones en humanos son causadas por *E. cloacae*, siendo agentes comunes de infecciones asociadas a la atención en salud (IAAS), principalmente bacteriemias, neumonía asociada a ventilación mecánica, infecciones urinarias e intraabdominales complicadas (Mezzatesta, Gona, & Stefani, 2012); también es común en pacientes inmunocomprometidos, con quemaduras o pacientes con enfermedades de base (Musil, Jensen, Schilling, Ashdown, & Kent, 2010), como diabéticos, oncogénicos, entre otros.

La terapia antimicrobiana está indicada en la mayoría de las infecciones por *Enterobacter*, muy resistentes a agentes antimicrobianos que pueden desarrollar resistencia durante la terapia antimicrobiana, por lo que la elección de agentes antimicrobianos apropiados es complicada; generalmente el tratamiento hacia este género de bacterias incluye cefalosporinas de tercera generación, como ceftriaxona, ceftazima (Mezzatesta et al., 2012).

En la búsqueda de alternativas terapéuticas para inhibir la proliferación de microorganismos patógenos al humano se ha recurrido al estudio de una gran diversidad de microorganismos, principalmen-

te bacterias y sus metabolitos, a lo que se le conoce como terapia de interferencia microbiana o Microbial Interference Therapy (MIT) (Falagas, Rafailidis, & Makris, 2008). Entre los microorganismos empleados para este propósito están los probióticos.

Los probióticos fueron definidos en 2002 como microorganismos vivos que confieren beneficios a la salud del huésped cuando son administrados en cantidades adecuadas. Esta definición fue consensada por el comité de expertos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (Food and Agriculture Organization) de las Naciones Unidas y por la OMS (FAO/WHO, 2002); sin embargo, en 2014 el grupo de expertos reunidos por ISAPP (International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics) publicaron el Marco general sobre el uso y alcance apropiados del término probiótico, este consenso indica que se requiere evidencia de un beneficio de salud, ya sea a nivel de grupo o específico de la cepa, según la naturaleza del beneficio. Los probióticos pueden tener diferentes medios de administración, especies objetivo (humanos y animales), poblaciones objetivo, sitios objetivo (intestino y más allá), puntos finales de eficacia y categorías reguladoras. Todos los probióticos deben ser seguros para su uso previsto. Los microbios muertos, los productos y componentes microbianos no están incluidos en la clasificación de probióticos (Hill et al., 2014).

Los productos *microbianos producidos* por los probióticos reciben el término de postbióticos, metabióticos, biogénicos o metabolitos/SFC (sobrenadantes libres de células), secretados por bacterias vivas o liberados después de la lisis bacteriana (Aguilar-Toalá et al., 2018). Estos subproductos pueden contener ácidos grasos de cadena corta (SCFA, por sus siglas en inglés), enzimas, péptidos, ácidos teicoicos, muropéptidos derivados de peptidoglicanos, endo y exopolisacáridos, proteínas de la superficie celular, vitaminas, plasmalógenos y ácidos orgánicos (Tsilingiri & Rescigno, 2013). Estos subproductos ofrecen beneficios fisiológicos al huésped al proporcionar bioactividad adicional (Cicenia et al., 2016).

Entre los microorganismos probióticos más comunes con beneficios de salud para los seres humanos destacan los siguientes géneros: *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Saccharomyces*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Bacillus* y la especie *Escherichia coli* (Fijan, 2014).

El género *Bifidobacterium* (figura 1) incluye varias bacterias anaerobias no móviles Gram positivas y algunas cepas se caracterizan por presentar mecanismos de resistencia a las sales biliares, las cuales se usan a menudo como bacterias probióticas, entre las cepas que presentan esta característica están *Bifidobacterium infantis*, *B. adolescentis*, *B. animalis* subsp *animalis*, *B. animalis* subsp *lactis*, *B. bifidum*, *B. longum* y *B. breve*. *Bifidobacterium* junto con otros probióticos se emplean para el tratamiento de estreñimiento (Chmielewska & Szajewska, 2010), la diarrea del viajero (McFarland, 2007), la diarrea asociada a antibióticos (Hempel et al., 2012), remisión de la inflamación intestinal y la colitis ulcerosa moderada (Dylag, Hubalewska-Mazgaj, Surmiak, Szmyd, & Brzozowski, 2014), enterocolitis necrotizante en recién nacidos (Di Gioia, Aloisio, Mazzola, & Biavati, 2014), reducción de la diarrea inducida por radiación (Demers, Dagnault, & Desjardins, 2014), reduciendo el desarrollo de riesgo de enfermedad por eccema, alergias a los alimentos (Isolauri, Rautava, & Salminen, 2012), capacidades para reducir el colesterol (Ruiz, Margolles, & Sánchez, 2013), alivio de los síntomas de la intolerancia a la lactosa, inmunoestimulación, prevención del cáncer y efectos antialérgicos (Sanders et al., 2013).

Algunas especies de bifidobacterias poseen efectos antagonicos contra patógenos intestinales (Íñiguez-Palomares & Acedo-Félix, 2006), otras especies como *B. breve* y *B. infantis* inhiben la invasión de *Escherichia coli* enteropatógena, *Yersinia pseudotuberculosis* y *Salmonella typhimurium* en cultivo de células Caco-2 enterocite-like (Bernet, Brassat,

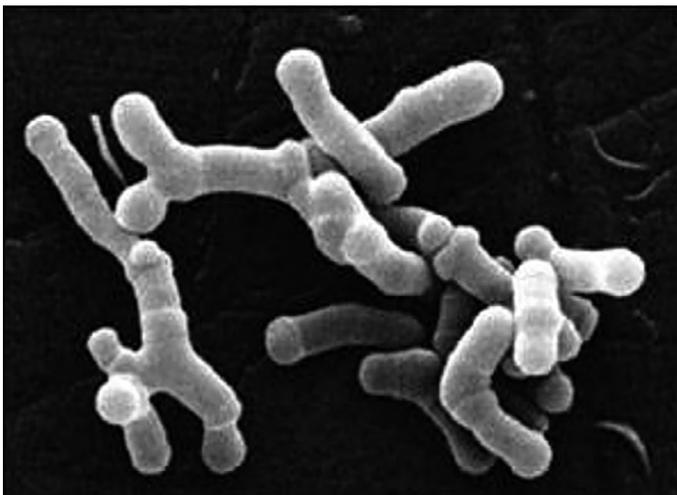


Figura 1. Aspecto morfológico de *Bifidobacterium longum*. Fotografía de Mark Schell (s. f.).

Nesser, & Servin, 1993). La inhibición entre los microorganismos ocurre por interferencia bacteriana (IB), la cual es expresada por medio de diversos mecanismos como cambios en el microambiente bacteriano y reducción de los nutrientes o producción de sustancias antagonistas, como bacteriocinas (González-Martínez, Gómez-Treviño, & Jiménez-Salas, 2003).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la actividad biológica de liofilizados de los postbióticos producidos por *B. longum* (LPTbt-BI) sobre el crecimiento de *E. cloacae*. De acuerdo con los antecedentes mostrados, es posible que alguno de los metabolitos o la sinergia de varios de estos, contenidos en el liofilizado del postbiótico de *B. longum*, puedan interferir en actividades metabólicas vitales de *E. cloacae*.

MATERIALES Y MÉTODOS

I. Origen, cultivo y mantenimiento de las cepas

Las cepas de *B. longum* (ATCC:15707) y *E. cloacae* (ATCC:13047) se adquirieron en la American Type Culture Collection (ATCC). Los cultivos bacterianos se mantuvieron a 4 °C en el medio específico y fueron cultivadas de manera periódica como se describe a continuación:

- Para el cultivo de *E. cloacae* se preparó caldo nutritivo Bioxon de acuerdo con las especificaciones del fabricante, posteriormente se alicuotó en 5ml en tubos de vidrio Pyrex de 13 x 100 mm con tapón de rosca, se esterilizaron en autoclave a 15 Lb de presión, 121 °C por 20 min, se dejaron temperar, y una vez que pasaron la prueba de esterilidad se almacenaron a 4 °C hasta su uso.
- Para el cultivo de *B. longum* la cepa fue cultivada en el caldo Man-Rogosa-Sharpe (Difco, Becton Dickinson Co., Sparks, MD, USA) e incubado por 24 h a 37 °C.

II. Obtención del postbiótico de *B. longum* (BI)

Después de la incubación de *B. longum* se obtuvo el sobrenadante libre de células (postbiótico) y se procedió a centrifugar a 2,500 r. p. m. durante 20 min (IEC CL30 Centrifuge Thermo SCIENTIFIC®). El material recuperado se filtró mediante membrana Millipore (0.22µm, GP Millipore Express®PLUS Membrane, Massachusetts, USA). El material filtrado fue colocado en vasos contenedores de vidrio especiales para liofilizar (LABCONCO®). Los vasos contenedores fueron co-

nectados al equipo para liofilización (LABCONCO® Catalog 7740020) a una presión de 0.133 mBar y una temperatura de colector de -40 °C por aproximadamente 12 h (Barrón González et al., 2008); finalmente se obtuvo el liofilizado del sobrenadante libre de células (postbiótico) de *B. longum* (LPtb-BI).

III. Preparación de la solución madre del LPtb-BI

Bajo condiciones de esterilidad se disolvió a saturación el LPtb-BI en 50 ml de agua desionizada estéril pH 7, posteriormente esta solución madre se esterilizó por filtración (empleando filtros millipore 0.22 µm), se sometió a prueba de esterilidad. Una vez que la prueba de esterilidad resultó positiva se tomaron las concentraciones a evaluar: 40, 20, 10 y 2 mg/ml.

IV. Determinación de la actividad inhibitoria del LPtb-BI sobre *E. cloacae*

Para determinar la interferencia bacteriana del LPtb-BI sobre el cultivo de *E. cloacae* se empleó la metodología reportada por Barrón González et al. (2008). Cada serie de 12 tubos contenía 40, 20, 10 y 2 mg/ml del LPtb-BI, posteriormente fueron inoculados con 100 µL de un cultivo de *E. cloacae* que presentaba una turbidez comparable con el tubo de 0.5 de la escala de McFarland, inmediatamente se incubaron a 37 °C por 24 h. Enseguida se realizaron lecturas de absorbancia a 570 nm, se graficaron y analizaron los datos obtenidos, posteriormente a la dosis de LPtb-BI que presentó interferencia bacteriana sobre el cultivo de *E. cloacae* se le determinaron las UFC/ml a través de un recuento bacteriano en placa (cada bioensayo se realizó en tres eventos independientes por triplicado). Como testigo se empleó ciprofloxacino [0.1 mg/ml], el control positivo fue el cultivo de *E. cloacae*.

V. Determinación porcentual de proteínas y ácidos grasos en el LPtb-BI

A la dosis de LPtb-BI que presentó mayor inhibición sobre el cultivo de *E. cloacae* se le realizó la cuantificación de:

a) Proteínas totales de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-F-608-NORMEX-2011 (Alimentos-determinación de proteínas en alimentos/método de ensayo-prueba), también se realizó la cuantificación de proteínas totales mediante el programa para detección de proteínas del equipo Thermo Scientific NanoDrop 2000c Spectrophotometer. Se tomó 1 µl de la solución del LPtb-BI [40 mg/ml] y se colocó directamente sobre el pedestal del NanoDrop 200C, poste-

riormente el brazo del aparato fue movido para cerrar, enseguida el aparato desplegó la lectura en la pantalla y se registró en la bitácora. Se limpió el pedestal y se repitió el procedimiento en tres eventos independientes por triplicado.

b) También se llevó a cabo la determinación porcentual de ácidos grasos totales de acuerdo con la Secretaría de Salud (26 de junio de 1996) con la Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994 (Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales).

La determinación de proteínas y ácidos grasos presentes en el LPtb-BI se llevaron a cabo en un laboratorio de referencia, acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

VI. Análisis estadístico

Se realizó el análisis de los resultados obtenidos empleando el análisis estadístico ANOVA con $P < 0.05$ en el paquete de análisis estadístico SPSS versión Windows® 2010.

RESULTADOS

Determinación de la actividad biológica del LPtb-BI sobre *E. cloacae*

En la figura 2(a) se observan células de *B. longum* en fase logarítmica, las cuales presentan la morfología característica bacilar y con aspecto de "Y", lo cual indica que está en proceso de división (flecha), en la imagen (b) se muestra el aspecto del liofilizado obtenido del postbiótico de *B. longum* (LPtb-BI).

En la tabla 1 y figura 3 se muestran las UFC/ml de *E. cloacae* obtenidas con las cuatro concentra-

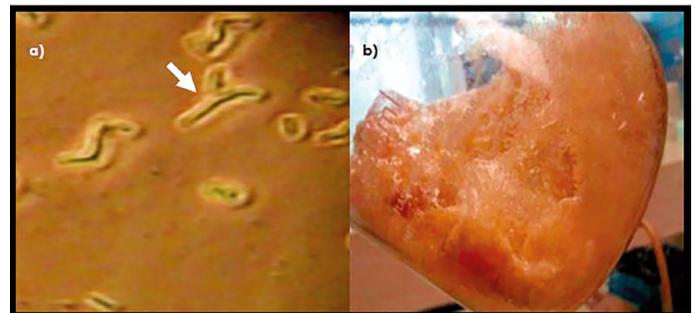


Figura 2. En a) se muestra la morfología característica de *B. longum*, observada a través de microscopía de contraste de fase (1000 X), en b) se muestra el aspecto del LPtb-BI.

Fotografía tomada por María Porfiria Barrón-González.

Tabla 1
Inhibición del LPtb-BI sobre el crecimiento de *E. cloacae*

Dosis evaluada del LPtb-B.I (mg/ml)	UFC/ml de <i>E. cloacae</i> (1×10^6)	Inhibición (%)
40	0.907	99.9
20	2.4	99.8
10	650	44.6
2	1105	2.8
Ciprofloxacino	0	100
Control	1173.3	-

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2
Determinación de proteínas y ácidos grasos en el LPtb-BI

Parámetro determinado en el LPtb-BI	Técnica o metodología empleada	Valor obtenido [mg/ml]
Proteínas totales	NMX-F-608-NORMEX-2011	22.70
	Nanodrop	25.25
Ácidos grasos totales	NOM-086-SSA1-1994	7.30

Nota: Elaboración propia.

ciones evaluadas del LPtb-BI y el fármaco de elección, asimismo, se muestra el valor porcentual de la inhibición o interferencia bacteriana (IB) que sufrió *E. cloacae*.

En la figura 3 se muestra la inhibición porcentual o la interferencia bacteriana (IB) que exhibe el LPtb-BI sobre la cepa de *E. cloacae* en concentraciones de 40 y 20 mg/ml y se observó una inhibición porcentual de 99.9 y 99.8, respectivamente. Estos valores no presentan diferencia significativa con respecto a la inhibición que presentó sobre *E. cloacae*, el ciprofloxacino [0.1 mg/ml] a esta dosis inhibió 100% del cultivo. Pero sí presenta diferencia significativa con respecto a la inhibición del cultivo de *E. cloacae* que se observó al emplear el LPtb-BI a dosis de 10 y 2 mg/ml, ya que sólo se obtuvo una inhibición de 45 y 6%, respectivamente.

Cuantificación de proteínas y ácido grasos totales en el LPtb-BI

En la tabla 2 se muestran los valores obtenidos con respecto a las proteínas totales presentes en el LPtb-BI, de acuerdo con la NMX-F-608-NORMEX-2011, el valor obtenido fue de 22.7 mg/ml y empleando el equipo NanoDrop 25.25 mg/ml, estos valores obtenidos por diferentes técnicas no presentan diferencia significativa. En cuanto a la determinación

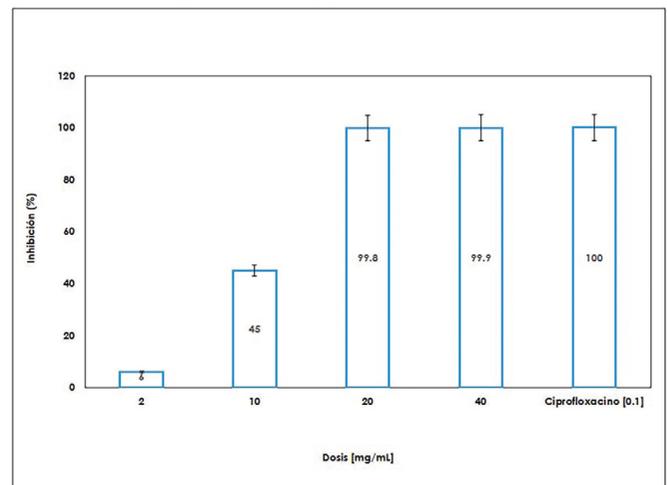


Figura 3. Inhibición porcentual del LPtb-BI sobre el crecimiento de *E. cloacae*.

Elaboración propia.

de los ácidos grasos totales, empleando la NOM-086-SSA1-1994, se obtuvo un valor de 7.30 mg/ml.

DISCUSIÓN

En este trabajo se evaluó el efecto del liofilizado del sobrenadante libre de células (posbiótico) de *B. longum* (LPtb-BI) sobre *E. cloacae*, con mayor

actividad inhibitoria (interferencia bacteriana) en dosis de 20 y 40 mg/ml, ya que se registró inhibición de 99.8 y 99.9%, respectivamente; de 45% en dosis de 10 mg/ml; en dosis de 2 mg/ml fue de 6%, lo cual indica que a mayor concentración de LPtb-BI se observa mayor inhibición del crecimiento de *E. cloacae*.

Al igual que otras bacterias probióticas, *B. longum* produce sustancias con capacidad bactericida como las bacteriocinas (Moon, Pyun, Park, Ji, & Kim, 2005), ácidos grasos volátiles de cadena corta, peróxido de hidrógeno y ácido láctico con la consecuente reducción del pH intraluminal; este se considera el principal mecanismo por el cual las bacterias lácticas inhiben el crecimiento de diferentes bacterias patógenas (Donohue & Salminen, 1996).

Las bacteriocinas son péptidos de síntesis ribosomal que tienen un peso molecular entre 3-10 kDa, pueden presentar actividad antimicrobiana (interferencia microbiana) por diversos mecanismos que incluyen desestabilización de la membrana, lisis celular, degradación de ácidos nucleicos e inhibición de procesos biológicos como síntesis de proteínas, ADN, ARN y peptidoglicano (De-Martinis, Alves, & Franco, 2002).

En el LPtb-BI se determinó la presencia de proteínas totales a través de dos técnicas, la NMX-F-608-NORMEX-2011 y empleando el NanoDrop 2000c Spectrophotometer, se obtuvieron concentraciones muy semejantes en ambas técnicas; asimismo, se determinaron y cuantificaron los ácidos grasos totales empleando la NOM-086-SSA1-1994, las cuantificaciones mediante especificaciones de las Normas Mexicanas se realizaron en un laboratorio acreditado ante la EMA, ya que asegura una mejor calidad en los resultados.

Según Harmsen et al. (2000), las especies de *Bifidobacterium* producen un ambiente ácido que evita el crecimiento bacteriano, en este trabajo se demostró la capacidad inhibitoria del postbiótico de *B. longum* (LPtb-BI), y en otros trabajos se

ha demostrado que estas sustancias inhiben el crecimiento de bacterias patógenas por acción antagonica, ya que se bloquea la adhesión al epitelio intestinal (Fuller & Gibson, 1997).

Se ha reportado que factores extracelulares producidos *Lactobacillus acidophilus* y *L. johnsonii* La1 inhiben el crecimiento in vitro de *Giardia lamblia* en la fase G1, e impiden que se forme el quiste, la forma infectiva de este protozooario (Pérez et al., 2001). En otro trabajo se reportó la inhibición del ciclo de vida in vitro de *Entamoeba histolytica* HM1-IMSS al emplear liofilizados del sobrenadante de *L. plantarum*, *L. casei*, *L. casei rhamnosus*, *L. acidophilus* y *B. longum* libre de células (Barrón González et al., 2008).

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, será recomendable realizar la purificación de bacteriocinas producidas por *B. longum* y evaluar su capacidad para inhibir el crecimiento de *E. cloacae* y diversos microorganismos patógenos, así como elaborar un perfil proteico de las bacteriocinas para demostrar si el efecto de interferencia bacteriana se debe a una proteína, péptidos o a la sinergia de bacteriocinas u otros metabolitos, y determinar la estructura de las bacteriocinas producidas por *B. longum*, así como identificar los tipos de ácidos grasos de cadena corta que son liberados por *B. longum*.

CONCLUSIONES

En diversos trabajos se han reportado los múltiples efectos benéficos que presentan los probióticos sobre la salud, así como la actividad inhibitoria o de interferencia bacteriana sobre diversos microorganismos patógenos; en esta investigación se observó que el liofilizado del sobrenadante libre de células (postbiótico) de *B. longum* inhibe el crecimiento de *E. cloacae*. Estos resultados se suman a las diversas investigaciones con probióticos encaminados al tratamiento y prevención de infecciones ocasionadas por *E. cloacae* y otros microorganismos patógenos.

REFERENCIAS

- Aguilar-Toalá, J. E., García-Varela, R., García, H. S., Mata-Haro, V., González-Córdova, A. F., Vallejo-Córdoba, B., & Hernández-Mendoza, A. (2018). Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 105-114. doi: 10.1016/j.tifs.2018.03.009
- Barrón González, M. P., Serrano Vázquez, G. C., Villarreal Treviño, L., Verduzco Martínez, J. A., Morales Vallarta, M. R., & Mata Cárdenas, B. D. (2008). Inhibición del crecimiento axénico *in vitro* de *Entamoeba histolytica* por acción de probióticos. *Ciencia-UANL*, 11, 235-290.
- Bernet, M. F., Brassart, D., Neeser, J. R., & Servin, A. L. (1993). Adhesion of human bifidobacterial strains to cultured human intestinal epithelial cells and inhibition of enteropathogen-cell interactions. *Applied and Environmental Microbiology*, 59(12), 4121-4128.
- Chmielewska, A., & Szajewska, H. (2010). Systematic review of randomised controlled trials: Probiotics for functional constipation. *World Journal of Gastroenterology*, 16(1), 69-75. doi: 10.3748/wjg.v16.i1.69
- Cicenia, A., Santangelo, F., Gambardella, L., Pallotta, L., Iebba, V., Scirocco, A.,... Severi, C. (2016). Protective role of postbiotic mediators secreted by *Lactobacillus rhamnosus* GG versus Lipopolysaccharide-induced damage in human colonic smooth muscle cells. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 50, S140-S144. doi: 10.1097/MCG.0000000000000681
- De-Martinis, E. C. P., Alves, V. F., & Franco, B. D. G. M. (2002). Fundamentals and perspectives for the use of bacteriocins produce by lactic acid bacteria in the meat products. *Food Reviews International*, 18(2-3), 191-208. doi: 10.1081/FR-120014688
- Demers, M., Dagnault, A., & Desjardins, J. (2014). A randomized double-blind controlled trial: Impact of probiotics on diarrhea in patients treated with pelvic radiation. *Clinical Nutrition*, 33(5), 761-767. doi: 10.1016/j.clnu.2013.10.015
- Di Gioia, D., Aloisio, I., Mazzola, G., & Biavati, B. (2014). Bifidobacteria: Their impact on gut microbiota composition and their applications as probiotics in infants. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(2), 563-577. doi: 10.1007/s00253-013-5405-9
- Donohue, D. C., & Salminen, S. (1996). Safety of probiotic bacteria. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 5(1), 25-28.
- Dylag, K., Hubalewska-Mazgaj, M., Surmiak, M., Szmyd, J., & Brzozowski, T. (2014). Probiotics in the mechanism of protection against gut inflammation and therapy of gastrointestinal disorders. *Current Pharmaceutical Design*, 20(7), 1149-1155. doi: 10.2174/13816128113199990422
- Falagas, M. E., Rafailidis, P., & Makris, G. C. (2008). Bacterial interference for the prevention and treatment of infections. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 31(6), 518-522. doi: 10.1016/j.ijantimicag.2008.01.024
- Fijan, S. (2014). Microorganisms with claimed probiotic properties: An overview of recent literature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(5), 4745-4767. doi: 10.3390/ijerph110504745
- Food and Agriculture Organization of the United Nations World Health Organization. (2002). *Guidelines for the evaluation of probiotics in food. Report of a joint FAO/WHO Working Group on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food*. London Ontario, Canada, April 30 and May 1, 2002. Recuperado el 10 de marzo de 2018, de http://www.who.int/foodsafety/fs_management/en/probiotic_guidelines.pdf
- Fuller, R., & Gibson, G. R. (1997). Modification of the intestinal microflora using probiotics and prebiotics. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 32(222), 28-31. doi: 10.1080/00365521.1997.11720714
- González-Martínez, B. E., Gómez-Treviño, M., & Jiménez-Salas, Z. (2003). Bacteriocinas de probióticos. *Revista de Salud Pública y Nutrición*, 4(2). Recuperado de <http://www.medigraphic.com/pdfs/revsalpubnut/spn-2003/spn032g.pdf>
- Harmsen, H. J., Wildeboer-Veloo, A. C. M., Raangs, G. C., Wagendorp, A. A., Klijn, N., Bindels J. G., & Welling, G. W. (2000). Analysis of intestinal flora development in breast-fed and formula-fed infants by using molecular identification and detection methods. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 30(1), 61-67. Recuperado de https://journals.lww.com/jpgn/Fulltext/2000/01000/Analysis_of_Intestinal_Flora_Development_in.19.aspx
- Hempel, S., Newberry, S. J., Maher, A. R., Wang, Z., Miles, J. N. V., Shanman, R.,... Shekelle, P. G. (2012). Probiotics for the prevention and treatment of antibiotic-associated diarrhea: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Medical Association*, 307(18), 1959-1969. doi: 10.1001/jama.2012.3507
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., ... Sanders, M. E. (2014). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews. Gastroenterology & Hepatology*, 11, 506-514. doi: 10.1038/nrgastro.2014.66

- Íñiguez-Palomares, C., & Acedo-Félix, E. (2006). Mecanismos de adhesión al tracto intestinal y an antagonismo de *Bifidobacterium*. *Revista de Salud Pública y Nutrición*, 7(2). Recuperado de <http://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/168>
- Isolauri, E., Rautava, S., & Salminen, S. (2012). Probiotics in the development and treatment of allergic disease. *Gastroenterology Clinics of North America*, 41(4), 747-762. doi: 10.1016/j.gtc.2012.08.007
- Livermore, D. M. (1998). β -lactamase-mediated resistance and opportunities for its control. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 41(4), 25-41. doi: 10.1093/jac/41.suppl_4.25
- McFarland, L. V. (2007). Meta-analysis of probiotics for the prevention of traveler's diarrhea. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 5(2), 97-105. doi: 10.1016/j.tmaid.2005.10.003
- Mezzatesta, M. L., Gona, F., & Stefani, S. (2012). *Enterobacter cloacae* complex: Clinical impact and emerging antibiotic resistance. *Future Microbiology*, 7(7), 887-902. doi: 10.2217/fmb.12.61
- Moon, G. S., Pyun, Y. R., Park, M. S., Ji, G. E., & Kim, W. J. (2005). Secretion of recombinant pediocin PA-1 by *Bifidobacterium longum*, using the signal sequence for Bifidobacterial α -amylase. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9), 5630-5632. doi: 10.1128/AEM.71.9.5630-5632.2005
- Murray, P. R., Rosenthal, K. S., & Pfaller, M. A. (Eds.). (2006). *Microbiología médica* (5ª. ed., pp. 323-335). España: Elsevier.
- Musil, I., Jensen, V., Schilling, J., Ashdown, B., & Kent, T. (2010). *Enterobacter cloacae* infection of an expanded polytetrafluoroethylene femoral-popliteal bypass graft: A case report. *Journal of Medical Case Reports*, 4, 131. doi: 10.1186/1752-1947-4-131
- Norma Mexicana NMX-F-608-NORMEX-2011. Alimentos-determinación de proteínas en alimentos/método de ensayo-prueba. Recuperado el 14 marzo de 2018, de dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4858024&fecha=04/08/0980
- Pérez, P. F., Minnaard, J., Rouvet, M., Knabenhans, C., Brassart, D., De Antoni, G. L., & Schiffrin, E. J. (2001). Inhibition of *Giardia intestinalis* by extracellular factors from Lactobacilli: An in vitro Study. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(11), 5037-5042. doi: 10.1128/AEM.67.11.5037-5042.2001
- Ruiz, L., Margolles, A., & Sánchez, B. (2013). Bile resistance mechanisms in *Lactobacillus* and *Bifidobacterium*. *Frontiers in Microbiology*, 4, 396. doi: 10.3389/fmicb.2013.00396
- Sanders, M. E., Guarner, F., Guerrant, R., Holt, P. R., Quigley, E. M. M., Sartor, R. B. ..., Mayer, E. A. (2013). An update on the use and investigation of probiotics in health and disease. *Gut*, 62(5), 787-796. doi: 10.1136/gutjnl-2012-302504
- Schell, M. (s. f.). *Bifidobacterium longum* [Fotografía]. Athens, GA: University of Georgia.
- Secretaría de Salud. (26 de junio de 1996). Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 14 de marzo de 2018, de dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5172062&fecha=22/12/2010
- Tsilingiri, K., & Rescigno, M. (2013). Postbiotics: What else? *Beneficial Microbes*, 4(1), 101-107. doi: 10.3920/BM2012.0046
- World Health Organization. (2017). *Global priority list of antibiotic-resistant bacteria to guide research, discovery, and development of new antibiotics*. Recuperado el 10 de marzo de 2018, de <http://www.who.int/medicines/publications/global-priority-list-antibiotic-resistant-bacteria/en/>

Estudio preliminar del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala de laboratorio

Preliminary study of the beer production process from red sorghum CIAP R-132 at laboratory scale



Amaury Pérez-Sánchez*✉, Helen María Alfonso-Fernández*, Julio César Aragón-Fontes*, José Gerardo Baltá-García*, Isnel Benítez-Cortés*

Pérez-Sánchez, A., Alfonso-Fernández, H. M., Aragón-Fontes, J. C., Baltá-García, J. G., & Benítez-Cortés, I. (2019). Estudio preliminar del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala de laboratorio. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 27-37.

RESUMEN

Se realizó un estudio preliminar del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala de laboratorio. Se obtuvo una germinación promedio de 75.15%, mientras que la cerveza obtenida tuvo un valor promedio de alcohol de 1.28%, de extracto original igual a 3.68%, y acidez de 4.26%. Se realizó una prueba a escala de banco, efectuando la etapa de cocción y agregando lúpulo durante la misma, obteniéndose un porcentaje de alcohol de 0.56%, extracto original igual a 3.46% y acidez de 1.29%. A partir de las conclusiones del estudio se recomienda realizar la etapa de remojo en solución de NaOH 0.1% m/m, llevar a cabo la etapa de cocción en el proceso productivo, añadir sacarosa o compuestos ricos en azúcares fermentables al mosto antes de la fermentación, y agregar la enzima exógena Fungamyl 800 I durante el proceso de maceración.

Palabras clave: sorgo rojo CIAP R-132; cerveza; malteado; maceración; fermentación.

Keywords: red sorghum CIAP R-132; beer; malting; maceration; fermentation.

Recibido: 14 de julio de 2018, aceptado: 8 de febrero de 2019

* Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz". Carretera Circunvalación Norte, km 5½, e/Camino Viejo de Nuevitas y Ave. Ignacio Agramonte, C. P. 74650, Camagüey, Cuba. Correo electrónico: amauryps@nauta.cu; helen.alfonso@reduc.edu.cu; julio.aragon@reduc.edu.cu; gerardo.balta@reduc.edu.cu; isnel.benites@reduc.edu.cu. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0819-6760>; <http://orcid.org/0000-0002-8785-8899>; <http://orcid.org/0000-0003-0511-232X>; <http://orcid.org/0000-0002-6768-1272>; <http://orcid.org/0000-0003-2427-640X>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

We made a preliminary study of the beer production process from red sorghum CIAP R-132 at laboratory scale. The obtained results show an average germination value of 75.15%, while the beer obtained had an average alcoholic percentage value of 1.28%, an original extract value equal to 3.68% and acidity percentage of 4.26%. We did a bench-scale test, implementing the cooking stage and adding hop during it, hence obtaining 0.56% of alcoholic percentage; 3.46% of original extract; and 1.29% of acidity. From the conclusions obtained for this study it's recommended to do the steeping stage with a 0.1% w/w NaOH aqueous solution, to carry out the cooking stage in the production process, to add sucrose or sugar-rich compounds to the wort prior to fermentation, and to add Fungamyl 800 I exogenous enzyme during maceration process.

INTRODUCCIÓN

El sorgo (*sorghum bicolor* L. Moench) es, en términos de producción mundial, la quinta gramínea después del trigo, arroz, maíz y avena (Ortega Díaz, 2016), los mayores productores a nivel mundial son Estados Unidos, 25%; India, 21.5%; Nigeria, 6.9%; México, 10.7%; Argentina, 3.5% (Bernal Negrete, Pérez Rodríguez, & Delgado Morales, 2015). Es un cultivo que tiene alta tolerancia a la sequía y se adapta a zonas tropicales y subtropicales. Puede ser empleado para la producción de panes y cereales para el desayuno, en obtención de bioetanol, jarabes de glucosa o fructosa y como componente (tanto principal como adjunto) en la producción de cerveza.

Según Gallardo Aguilar et al. (2013, p. 63), la cerveza es una "expresión genérica para designar a la bebida resultante de fermentar, mediante levadura seleccionada, el mosto procedente de la malta de granos de cereal, solo o mezclado con otros adjuntos cerveceros transformables en azúcares por digestión enzimática, la que es sometida previamente a un proceso de cocción y aromatizados sus extractos y/o sus concentrados con flores de lúpulo. Su graduación alcohólica no será inferior al 3% en masa y el extracto seco primitivo (ESP) no será inferior al 11% en masa".

La producción de cerveza mediante el uso de 100% en grano de sorgo es un concepto relativamente nuevo (Ratnavathi, & Chavan, 2016), donde el continente africano es una de las regiones donde más se emplea el sorgo de forma tradicional para la obtención de bebidas alimenticias fermentadas, tanto alcohólicas como no alcohólicas (Lyumugabe, Gros, Nzugize, Baiyana, & Thorant, 2012; Ramatoulaye et al., 2016). Aquellos cultivos que presentan una baja temperatura de gelatinización, baja cantidad de polipéptidos y lípidos, alto poder diastático y proteínas fácilmente solubles son excelentes para la preparación de cervezas (Ratnavathi & Chavan, 2016).

Las cervezas obtenidas a partir de sorgo son ricas en vitaminas del complejo B, lo que incluye tiamina, ácido fólico, riboflavina y ácido nicotínico; estas presentan gran cantidad de minerales como hierro, fósforo y potasio, y alto contenido de aminoácidos esenciales como la lisina (Lyumugabe et al., 2012). También diferentes productos alimenticios y bebidas obtenidas a partir del sorgo pueden ser consumidos por personas con enfermedad celíaca debido a que no contienen gluten.

En Cuba la variedad de sorgo más cultivada es el sorgo blanco UDG-110, la cual se emplea fundamentalmente como sustituto de la harina de trigo o cebada para la elaboración de pan, galletas, bizcochos, dulces y bebidas (Chaviano Maraño, 2005). También se cultiva el sorgo rojo CIAP R-132, el cual presenta potencialidades prometedoras que aún no han sido explotadas al máximo, principalmente para la producción de bebidas y productos alimenticios (Nieblas Morfa et al., 2016).

En los últimos años en Cuba se ha evaluado el empleo de diversas variedades de sorgo para la producción de cerveza y maltinas, de forma integral

o como adjunto, también se han efectuado estudios relacionados con diversos procesos químicos. De esta manera, Rodríguez Rodríguez, Gallardo Aguilar, Nieblas Morfa y Ortiz Fernández (2015b) evaluaron el proceso de molienda húmeda para la extracción de almidón, tomando en cuenta dos variedades de sorgo: rojo (CIAP R-132) y blanco (UDG-110). Por su parte, Rodríguez Rodríguez, Gallardo Aguilar, Nieblas Morfa, Medina Macola y Ortiz Fernández (2015a) estudiaron el proceso de producción de jarabe dextrinizado mediante la hidrólisis enzimática del almidón de sorgo rojo CIAP R-132 y a partir del empleo de la enzima α -amilasa, con lo que se han obtenido jarabes dextrinizados con valores de equivalente de dextrosa (ED) entre 10.25 y 33.97%.

Nieblas Morfa et al. (2016) elaboraron cerveza combinando sorgo malteado (blanco UDG-110 y rojo CIAP R-132) con cebada malteada, además de producir maltina a escala piloto utilizando íntegramente sorgo malteado. También optimizaron la etapa de malteado, tanto del sorgo blanco UDG-110 como del rojo CIAP R-132. Gallardo Aguilar et al. (2013) abordaron el estudio de la obtención de dos bebidas, maltina y cerveza, a partir de sorgo blanco UDG-110 malteado, obteniendo resultados satisfactorios. Carvajal (2014) estudió el proceso de producción de cerveza a partir de sorgo blanco UDG-110 a escala de laboratorio, con el objetivo de evaluar la influencia de distintas variables sobre dos etapas del proceso productivo: malteado y fermentación.

Díaz Rodríguez (2014) estudió la elaboración de maltina a partir de sorgo blanco UDG-110, optimizado el proceso de malteado a partir del estudio de las variables que más influyen en el mismo, tales como concentración de NaOH, tiempo de remojo y germinación. Por último, Ortega Díaz (2016) llevó a cabo la producción de cerveza utilizando íntegramente sorgo blanco UDG-110, tanto malteado como en forma de jarabe, a escala de laboratorio.

Sin embargo, hasta la fecha no se ha reportado el uso integral de sorgo rojo CIAP R-132 para obtener cerveza en Cuba, por lo que en el siguiente trabajo se realiza un estudio del proceso de obtención de cerveza a partir de esta variedad de sorgo, con el fin de estudiar de forma preliminar cada una de las etapas involucradas en el proceso productivo, y definir los parámetros de operación más importantes, tomando en cuenta diferentes alternativas de remojo

y la adición o no de la enzima exógena Fungamyl 800 I durante la etapa de maceración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132

El proceso de producción de cerveza utilizando sorgo rojo CIAP R-132 como materia prima principal contó con las siguientes etapas principales (Bernal Negrete et al., 2015; Carvajal, 2014; Lyumugabe et al., 2012; Ortega Díaz, 2016):

- 1) Clasificación de los granos
- 2) remojo
- 3) germinación
- 4) secado
- 5) tamizado
- 6) molienda
- 7) maceración
- 8) filtración y lavado
- 9) fermentación
- 10) filtración secundaria y envasado (figura 1).

Clasificación de los granos. Se efectuó limpieza y clasificación primaria de los granos de sorgo, mediante la cual se escogen y desechan granos fracturados, dañados y/o fragmentados, materias extrañas como pajillas, piedras y partículas extrañas. Se empleó para ello un tamiz o colador de metal.

Remojo. Se pesaron 500 g de sorgo rojo CIAP R-132 en una balanza técnica (ScalTec® Modelo SPB 63) y se distribuyeron en 10 placas Petri de cristal a razón de 50 g por placa. A continuación las mismas fueron puestas en remojo tomando en cuenta dos variantes de estudio:

- Variante 1: Remojo en agua pura. Se tomaron cinco placas y se les agregaron 150 ml de agua por placa hasta cubrir totalmente los granos. Las placas se dejaron en remojo por 48 h a temperatura ambiente (~ 25 °C), y cada 12 horas se les cambió el agua.
- Variante 2: Remojo en una solución acuosa de NaOH 0.1% m/m. Se tomaron cinco placas y se les agregaron 150 ml de la solución acuosa de NaOH 0.1% m/m por placa hasta cubrir totalmente los granos. Las placas se dejaron en remojo por 12 h a temperatura ambiente (~ 25 °C) (Carvajal, 2014; Ortega Díaz, 2016). Cada 6 h se les cambió la solución.

Al concluir el tiempo de remojo se determinó la humedad alcanzada por los granos.

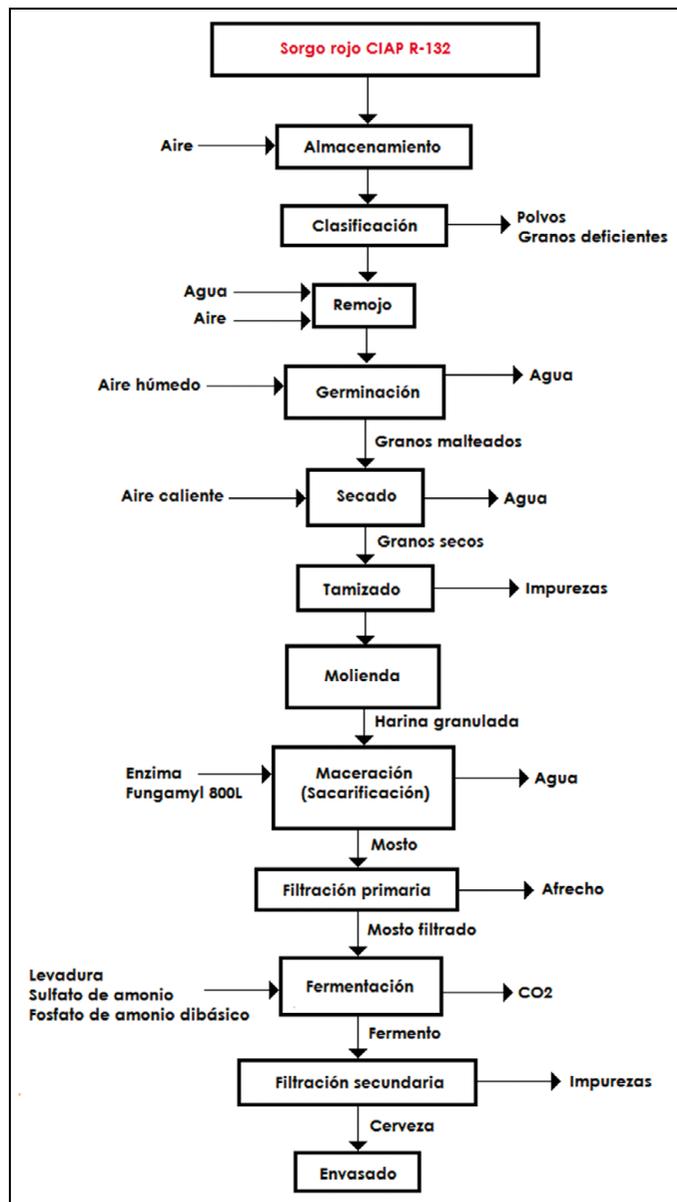


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de producción de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132. Elaboración propia.

Germinación. Una vez cumplido el tiempo de remojo se le retiró tanto el agua como la solución de NaOH a cada una de las placas en dependencia de la variante considerada. A continuación, las placas fueron cubiertas con paños húmedos y se introdujeron en el interior de un horno (Huandong Machinery® 101-3) operando a una temperatura entre 25 y 30 °C y una humedad relativa entre 92 y 98%. Las placas fueron rociadas dos veces al día con el fin de mantener la humedad alcanzada en la etapa de remojo. Se tomó en cuenta un tiempo de

germinación de 72 h para cada variante (Carvajal, 2014; Díaz Rodríguez, 2014; Ortega Díaz, 2016), se observó el brote de raicillas o plumillas en los granos al finalizar el tiempo de germinación.

Terminado el tiempo de germinación se procedió a determinar el porcentaje de este (% Ger) a partir del conteo de los granos germinados y los no germinados existentes en al menos dos placas por variante. El % Ger se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\%Ger = \frac{\text{Granos germinados}}{\text{Granos totales}} \times 100$$

Secado. El sorgo germinado contenido en las cinco placas utilizadas en la variante 1 fue esparcido en una bandeja metálica, mientras que el de las cinco placas empleadas en la variante 2 fue dispersado en una segunda bandeja metálica, tomando precaución de que los granos estuvieran distribuidos uniformemente y formaran una sola capa. Posteriormente, las dos bandejas fueron introducidas en un horno de tiro inducido (Huandong Machinery® 101-3) y se efectuó el secado a 60 °C con el fin de garantizar la no destrucción de las enzimas producidas y evitar la vitrificación del grano. Se tomaron muestras cada 30 min para determinar el porcentaje de humedad de los granos. El secado se detuvo cuando los mismos alcanzaron una humedad menor a 5% (Carvajal, 2014; Ortega Díaz, 2016).

Tamizado. Se procedió a retirar de forma manual y mediante un tamiz metálico, las raicillas producidas durante la germinación. Esta operación debe realizarse justo cuando termine el proceso de secado, ya que las raicillas son fuertemente higroscópicas y es más cómodo retirarlas secas (Ortega Díaz, 2016).

Molienda. Los granos malteados de sorgo sin raicillas fueron molidos en un molino de disco hasta obtener una consistencia de harina granulada, con el fin de favorecer la sacarificación del almidón durante el proceso de maceración.

Maceración. Se realiza para lograr la conversión de los almidones contenidos en el sorgo en azúcares fermentables (sacarificación). Se comenzó agregando 1.7 l de agua en un recipiente de cristal de 2.2 l de capacidad. A continuación, el recipiente fue colocado dentro de un termostato o Baño María (Bunsen®) con el objetivo de controlar la temperatura de maceración. Tanto el pH como la temperatura del proceso de maceración fueron registrados median-

te un medidor de pH (PHSJ-4A) con sensores para medir ambas variables.

Durante el proceso de maceración se establecieron cuatro pausas o escalones de temperaturas (Carvajal, 2014; Ortega Díaz, 2016). Primeramente, se calentó el agua contenida dentro del *beaker* hasta una temperatura de 38 °C, a partir de la cual se le agregó el grano de sorgo rojo en una relación sólido/líquido (sorgo/agua) de 125 g/l. Esta temperatura se mantuvo durante 40 min. Posteriormente se incrementó la temperatura de la mezcla hasta 52 °C y se mantuvo en este valor también durante 40 min. En este valor de temperatura se estudiaron dos variantes en las cuales se agrega o no la enzima exógena Fungamyl 8001 (Novozymes®) a una concentración de 0.1 g/l de mosto. Transcurrido este tiempo se incrementó la temperatura del mosto hasta 63 °C y se conservó en este valor durante 40 min. Por último, se realizó un incremento de la temperatura hasta 71 °C y permaneció en este valor durante 30 min. Todo el proceso de maceración se efectuó a una velocidad de agitación de 250 r. p.m. mediante un agitador eléctrico (Stuart Scientific® SS10).

Filtración y lavado. Se separó el líquido (mosto) del sólido (afrecho) con un colador metálico, el mosto filtrado se almacenó en un recipiente de cristal. La torta de afrecho acumulada en el colador se lavó con agua a 76 ± 2 °C, con el fin de que continuaran disolviéndose los azúcares contenidos en esta mezcla sólida (Ortega Díaz, 2016). El líquido de lavado se recogió en el mismo recipiente donde se colectó el mosto durante el primer filtrado. El afrecho agotado se desechó, mientras que el mosto contenido en el recipiente de cristal se enfrió hasta temperatura ambiente en una cuba preparada para el efecto conteniendo agua fría. Una vez enfriado, al mosto se le aplicó la prueba del yodo con el fin de comprobar si existió sacarificación del almidón durante el proceso de maceración, esto es, si el almidón se desdobló en azúcares simples. Al mosto filtrado y enfriado también se le midió el valor de los sólidos solubles totales o grados Brix (°Bx), y el pH.

Fermentación. Al mosto previamente enfriado se le agregó 1 g/l de sulfato de amonio y fosfato de amonio dibásico como nutrientes, y se le ajustó el pH hasta un rango de 5.0 ± 2 (Ortega Díaz, 2016). Se utilizó levadura *Saccharomyces cerevisiae* instantánea liofilizada (Lievito Combattenti®) como microorganismo para efectuar la fermentación

alcohólica. La fermentación se llevó a cabo en recipientes de cristal de 5 l de volumen total (fermentadores) equipados con una trampa de gases (*air-lock*). La muestra por fermentar se aireó inicialmente 20 min con una bomba peristáltica acoplada al fermentador, con el objetivo de que la levadura adquiriera una provisión inicial de oxígeno a partir de la cual pueda crecer y multiplicarse de forma adecuada.

Filtración secundaria y envasado. El líquido obtenido al terminar la fermentación se calentó hasta temperaturas superiores a 50 °C mediante una hornilla eléctrica, con el fin de detener la actividad fermentativa de la levadura (Ortega Díaz, 2016). La mezcla se filtró mediante una tela previamente esterilizada que separó la levadura, sedimentos y otras deposiciones sólidas del líquido, este último (cerveza) se depositó en envases de plástico de 500 ml.

Diseño metodológico

Se elaboró un diseño metodológico consistente en ocho corridas experimentales distribuidas en un experimento original y una réplica (figura 2), en donde

se tomaron en cuenta los dos métodos de remojo anteriormente descritos (con agua y con solución de NaOH), así como también se evaluó la adición o no de la enzima exógena Fungamyl 880 l durante la maceración. De esta manera, en la primera y segunda corridas se realizó el remojo con agua y solución de NaOH, respectivamente, y se evaluó la adición de la enzima exógena Fungamyl 800 l durante la maceración en ambas, mientras que en la tercera y cuarta corridas también se efectuó el remojo con agua o solución de NaOH, pero no se incluyó la adición de la enzima durante la maceración. El mosto filtrado obtenido al finalizar la maceración fue puesto a fermentar según los pasos descritos con anterioridad.

Prueba a escala de banco

Se realizó una prueba de producción de cerveza a escala de banco (25 l) con el fin de estudiar la posibilidad de llevar a cabo el proceso productivo a una escala de producción superior, evaluar la introducción de la etapa de cocción en el proceso productivo, adicionar ambos tipos de lúpulo, y examinar el desempeño operacional de un equipo de maceración novedoso (figura 3) bajo las

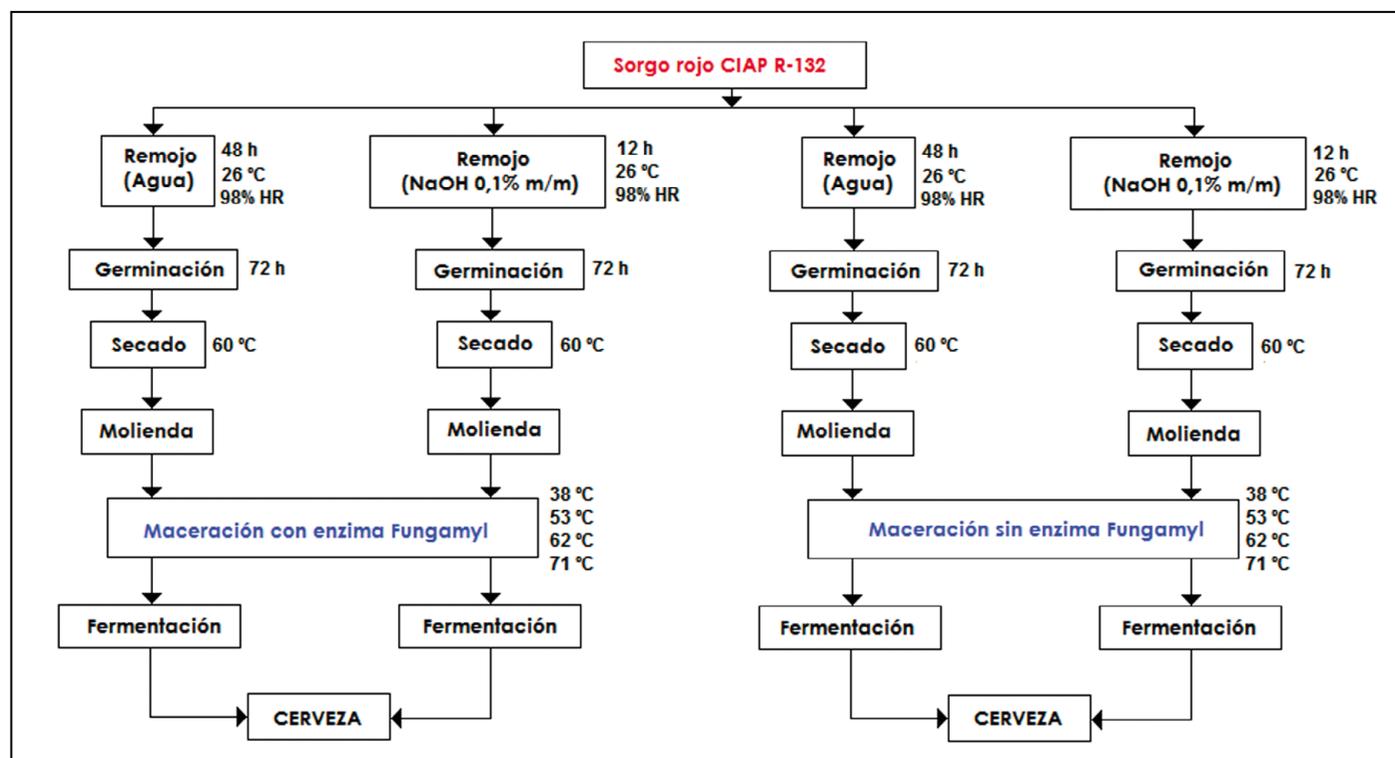


Figura 2. Diseño metodológico elaborado para llevar a cabo el estudio. Elaboración propia.



Figura 3. Equipo de maceración empleado en la prueba a escala de banco.

Fotografía del equipo de investigación.

condiciones de operación establecidas a escala de laboratorio.

La prueba productiva consistió en la realización de las operaciones normalmente realizadas a escala de laboratorio, es decir, remojo, germinación, secado, molienda, maceración, filtración primaria, fermentación, filtración secundaria y envasado, pero en este caso incluye la etapa de cocción. Se emplearon 1830 g de sorgo en total durante este ensayo, el remojo se realizó en solución acuosa de NaOH al 0.1% m/m, se adicionó la enzima exógena Fungamyl 800 I durante la etapa de maceración, manteniendo las mismas pausas de temperatura utilizadas en los experimentos a escala de laboratorio, mientras que la cocción se realizó a 100 °C de temperatura por 1 h, adicionando lúpulo tanto amargo (11.2 g) como aromático (2.8 g) durante la misma, además de ácido tánico (0.7 g).

Determinación experimental de las principales variables evaluadas durante el proceso

-Sólidos solubles totales (Grados Brix)

Se tomaron 5 ml de la muestra a medir y se filtraron

mediante un embudo y papel de filtro. El filtrado obtenido se disgregó posteriormente en el lente de medición del refractómetro ABBE, y su lectura de grados Brix (°Bx) se registró de forma visual mediante una escala localizada en el propio equipo. Se anotó el °Bx, tanto al mosto filtrado obtenido al finalizar la maceración, como a la cerveza obtenida al concluir la fermentación.

- Porcentaje (%) de humedad de los granos de sorgo
Se colocó una platina de aluminio dentro de una balanza de humedad (ScalTec®, SMO 01) y se pesó considerando la función de tara. A continuación, se vertieron 10 g de la muestra a analizar en la platina y se apuntó el porcentaje de humedad de forma automática por la balanza a medida que la muestra se calentaba. Al final se obtuvo la lectura del porcentaje de humedad de los granos de sorgo de forma directa a partir del resultado mostrado en la pantalla digital del equipo.
- pH
Se tomó una muestra de 10 ml y se midió directamente el valor de pH en un medidor digital de pH (PHSJ-4A).
- Porcentaje (%) de alcohol o grado alcohólico
El grado alcohólico da la medida de cuánto etanol (en porcentaje en masa) contiene la cerveza obtenida al finalizar la fermentación. Se determinó mediante el método de refractometría/picnometría (MINAL, 2009), determinando primeramente el extracto real de la muestra.
- Extracto original
Se determinó a partir de los valores de porcentaje de alcohol y extracto real obtenidos por el método de refractometría/picnometría (MINAL, 2009).
- Acidez total
Se deriva de la preparación del mosto, del proceso de fermentación, así como también del grado de carbonatación que presente la cerveza. Se determina por medio de la titulación o neutralización de la muestra con una solución de hidróxido de sodio en presencia del indicador fenolftaleína (MINAL, 2009). Vale destacar que los resultados obtenidos de porcentaje de acidez se expresan como porcentaje de ácido láctico.
- Prueba del yodo
Se le realiza fundamentalmente al mosto obtenido al finalizar la etapa de maceración, con el fin de conocer si ocurrió el desdoblamiento del almidón contenido en los granos de sorgo en

azúcares fermentables (sacarificación). Se toman 10 ml de muestra del mosto y se le agregan 2 o 3 gotas de solución de yodo a 25%. Si el color de la muestra se mantiene semejante al color de la solución de yodo (azul oscuro), entonces no ocurrió sacarificación, mientras que si la muestra se transforma desde un color azul oscuro inicial hasta un color semejante al de mosto antes de agregar la solución de yodo, la sacarificación fue positiva.

RESULTADOS

Humedad de los granos después del remojo

La humedad de los granos después del remojo presentó un valor promedio de 40.5% para el remojo en agua, y de 39.8% para el remojo en solución acuosa de NaOH 0.1% m/m.

Curva de secado

La figura 4 muestra la curva de secado obtenida durante la etapa de secado de los granos de sorgo, a la cual se le ajustó posteriormente una curva polinomial de orden 4.

Porcentaje de germinación

La tabla 1 muestra el porcentaje de germinación obtenido para cada experimento realizado, en el que se obtuvieron valores entre 69.0 y 80.0 y un promedio de 75.15.

Sólidos solubles totales (°Bx) del mosto al finalizar la maceración

La tabla 1 expone los resultados de los sólidos

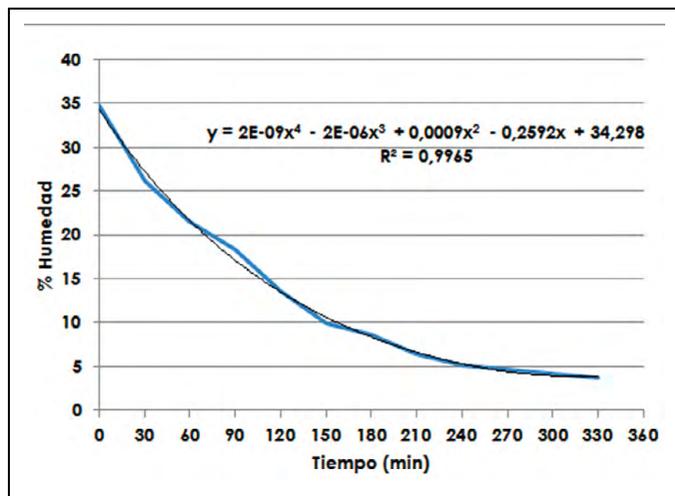


Figura 4. Curva de secado obtenida conteniendo el ajuste polinomial. Elaboración propia.

solubles totales (°Bx) del mosto obtenido al finalizar la etapa de maceración para ambos experimentos efectuados, tomando en cuenta la adición o no de la enzima exógena Fungamyl 800 I. De forma general se obtuvieron valores de °Bx por encima de 3.5 para todas las corridas consideradas, obteniendo un valor promedio total de 4.41.

Comportamiento del pH durante la maceración

El pH del mosto durante la maceración decreció desde un valor inicial promedio de 6.05 hasta un valor final promedio de 5.56 (figura 5) y se mantuvo en todo momento dentro del intervalo recomendable para el proceso (5.5 – 7.0) (Ortega Díaz, 2016), con tendencia a la disminución.

Tabla 1

Resultados de porcentaje de germinación, °Bx, porcentaje de alcohol, extracto original y porcentaje de acidez obtenidos en cada experimento efectuado durante la producción de cerveza a escala de laboratorio

Experimento	Original				Réplica			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Corrida	1	2	3	4	5	6	7	8
Adición enzima	Sí		No		Sí		No	
Tipo de remojo	Agua	NaOH	Agua	NaOH	Agua	NaOH	Agua	NaOH
% Germinación	77.8	80.0	69.0	71.5	76.6	77.0	72.9	76.4
°Bx	4.5	5.0	4.8	3.5	5.0	5.0	3.5	4.0
% Alcohol	2.22	1.24	1.86	0.70	0.93	1.52	1.55	0.20
Extracto original	4.53	3.76	4.38	3.55	3,49	3.70	3.95	2.04
% Acidez	5.56	5.99	3.99	5.91	4.52	4.16	2.20	1.71
Prueba yodo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Nota: Elaboración propia.

Grado alcohólico de la cerveza

En la tabla 1 se muestran los resultados del porcentaje de alcohol (grado alcohólico) obtenido para la cerveza en cada experimento efectuado. Los resultados mostrados en la misma indican que de las cervezas obtenidas presentó valores fluctuantes y variables, oscilando desde un mínimo de 0.20% hasta un máximo de 2.22%, con un valor promedio de 1.505% para el experimento original, y de 1.05% para la réplica. El porcentaje de alcohol promedio total obtenido fue de 1.28%.

Extracto original para la cerveza

En cuanto a los valores obtenidos de extracto original (tabla 1), oscilaron entre 2.04 y 4.53, con un valor promedio total de 3.675.

Acidez para la cerveza

La tabla 1 exhibe los resultados del porcentaje de acidez para ambos experimentos. Se obtuvo un promedio de acidez de 5.36% y de 3.15% para el experimento original y la réplica, respectivamente, mientras que se obtuvo un valor promedio total de 4.26%.

Resultados obtenidos en la prueba a escala de banco

La tabla 2 expone los resultados obtenidos en la prueba a escala de banco.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en cuanto a la humedad de los granos de sorgo después del remojo se encuentran ligeramente por debajo del valor recomendado por la bibliografía (French & McRuer, 1990). En estudios previos se obtuvieron valores de humedad entre 20.34 y 43.81% (Carvajal, 2014); de 34.4% (Ortega Díaz, 2016) y entre 20.61 y 41.66% (Gallardo Aguilar et

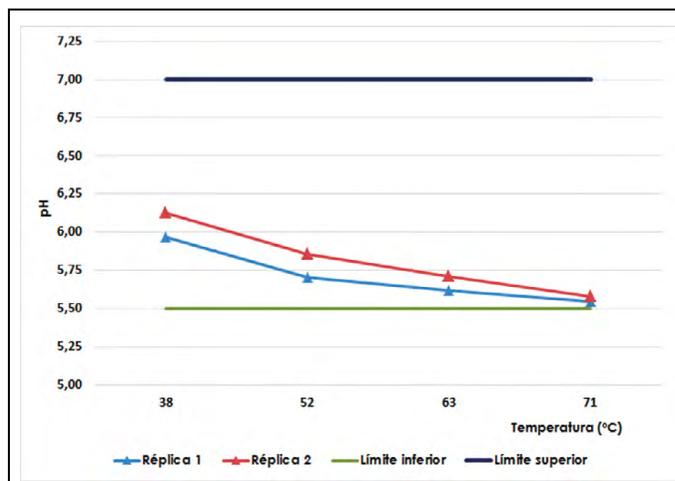


Figura 5. Comportamiento del pH del mosto durante la maceración.

Elaboración propia.

al., 2018), todos ellos empleando sorgo blanco UDG-110.

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 1, la germinación obtenida puede considerarse satisfactoria, ya que siete de los ocho valores de porcentaje de germinación obtenidos estuvieron por encima de 70%, lo cual está cercano al valor reportado para este tipo de sorgo (Carvajal, 2014). También puede observarse que se obtiene mayor porcentaje de germinación si se emplea la solución de hidróxido de sodio a 0.1% m/m durante la etapa de remojo, ya que se obtuvo un valor promedio del mismo de 76.225% empleando esta solución, mientras que el obtenido mediante agua fue de 74.075%. De esta manera se recomienda efectuar el remojo del sorgo rojo CIAP R-132 utilizando la solución de NaOH a 0.1% m/m, ya que se obtienen resultados superiores del porcentaje de germinación en un menor tiempo (36 h menos), en comparación con los obtenidos

Tabla 2
 Principales resultados obtenidos durante la prueba a escala de banco

Parámetro	Valor
Volumen total de mosto al finalizar la maceración	12.2 l
Masa total de afrecho húmedo	2605 g
°Bx del mosto al terminar la maceración	5.0
Prueba del yodo del mosto después de la maceración	Positivo
Volumen total de mosto al finalizar la cocción	11 L
°Bx del mosto al concluir la cocción	5.1
% de alcohol del fermento	0.56
Extracto original de la cerveza	3.46
Acidez de la cerveza (%)	1.29

Nota: Elaboración propia.

realizando el remojo en agua solamente (Nieblas Morfa et al., 2016). Lo anterior está en concordancia con estudios previos relacionados con este tema (Carvajal, 2014; Díaz Rodríguez, 2014; Ortega Díaz, 2016).

La obtención de un porcentaje de germinación con resultados satisfactorios resulta vital para llevar a cabo adecuadamente las posteriores etapas del proceso productivo (Carvajal, 2014). En estudios previos se obtuvo un porcentaje de germinación de 96% (Carvajal, 2014), entre 46.42 y 58.69% (Ortega Díaz, 2016) y entre 3.5 y 88.7% (Gallardo Aguilar et al., 2018) con sorgo blanco UDG-110.

En cuanto a los valores de °Bx obtenidos, se obtuvo un valor superior en las corridas que utilizaron la enzima Fungamyl 800 I durante la maceración (promedio de 4.875), en comparación con las que no (promedio de 3.95). Se puede concluir que existe una mayor sacarificación y rendimiento de °Bx superior si se emplea dicha enzima en esa fase. En estudios anteriores se obtuvo un valor promedio de °Bx entre 3.5 y 7.0 (Gallardo Aguilar et al., 2013), de 7.5 (Carvajal, 2014), y de 4.2 (Ortega Díaz, 2016) al finalizar la etapa de maceración, empleando en todas ellas sorgo blanco UDG-110.

El grado alcohólico obtenido en todos los experimentos siempre fue inferior del porcentaje de alcohol mínimo establecido para la cerveza Tímina de tipo ligera, que es de 3.0 (MINAL, 2009), mientras que con excepción de la corrida 1, estos se encuentran también por debajo del rango promedio definido por la bibliografía consultada (Carvajal, 2014) en donde se establece un rango promedio de grado alcohólico entre 2.0 y 4.5% para cervezas obtenidas íntegramente a partir de sorgo. Lo anterior puede deberse, fundamentalmente, a la baja concentración de azúcares fermentables presentes en el mosto antes de la fermentación, ya que en este estudio no se agrega azúcar (crudo o refino) ni otros licores o aditivos ricos en azúcares al mosto antes de ser fermentado. A pesar de estos resultados, se puede concluir que en todas las corridas se obtuvo cerveza conteniendo alcohol, aunque no con las concentraciones establecidas por la bibliografía. En estudios precedentes relacionados con la elaboración de cerveza a partir de sorgo blanco UDG-110 se obtuvieron valores de porcentaje de alcohol entre 1.68 y 3.24 (Gallardo Aguilar et al., 2013), entre 5.63 y 15.16 (Carvajal, 2014) y entre 1.00 y 4.88 (Ortega Díaz, 2016).

Con respecto a los valores obtenidos de extracto original mostrados en la tabla 1, se puede observar que todas las corridas presentaron valores de extracto original por debajo del límite mínimo requerido para la cerveza Tímina (7.5) (MINAL, 2009), mientras que no se reportan valores de este parámetro en la bibliografía consultada (Carvajal, 2014; Díaz Rodríguez, 2014; Gallardo Aguilar et al., 2013; Nieblas Morfa et al., 2016; Ortega Díaz, 2016).

La acidez promedio total obtenida (4.26%) se encuentra encima del valor máximo requerido para la cerveza Tímina, que es de 3.50%, aunque se debe notar que los experimentos 7 y 8 presentaron valores por debajo de este límite máximo. Esto se debe probablemente a la acción fermentativa predominante de bacterias de ácido láctico, fundamentalmente *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus buchneri* y/o *Lactobacillus divergens*, cuya presencia ha sido reportada (Lyumugabe, Kamaliza, Bajyana, & Thonart, 2010) como un suceso normal y típico durante la etapa de fermentación de cerveza a partir de sorgo. Se ha indicado (Kayodé, Adegbi, Hounhouigan, Linnemann, & Nout, 2005; Maoura & Pourquie, 2009) que las cervezas obtenidas a partir de sorgo constituyen ejemplos característicos de la fermentación láctica seguida de la alcohólica en donde las bacterias de ácido láctico (BAL), y luego las levaduras, juegan el papel dominante. Se ha comprobado que las BAL crean un ambiente ácido favorable para la proliferación de las levaduras. Estas levaduras, a su vez, producen vitaminas e incrementan los aminoácidos, que ayudan al crecimiento de las BAL. Debido a su elevado crecimiento, las bacterias lácticas usualmente dominan en las etapas tempranas de la fermentación, mientras se establece una relación simbiótica, la cual explica la presencia simultánea de BAL y levaduras durante la fermentación (Lyumugabe et al., 2010).

La posible aparición de estas y otras bacterias durante la fermentación pudo ocurrir debido a la no realización de la etapa de cocción del mosto obtenido al finalizar la maceración, ya que como etapa fundamental previa al proceso de fermentación se logra reducir la carga bacteriana (esterilización) del mosto, lo que previene la acción fermentativa de microorganismos ajenos al proceso de fermentación alcohólica, que pueden transmitirle sabores extraños a la cerveza debido a su actividad metabólica, además de incrementar los valores de ciertos parámetros fisicoquímicos importantes

a controlar para la cerveza, como la acidez. En estudios precedentes se han obtenido valores de la misma en cervezas producidas a partir de sorgo entre 0.09 y 0.36% (Carvajal, 2014), y entre 0.27 y 1.92% (Ortega Díaz, 2016) utilizando sorgo blanco UDG-110. También entre 1.52 y 1.68% mezclando sorgo blanco UDG-110 con cebada malteada (Nieblas Morfa et al., 2016) y entre 1.52 y 1.71%, mezclando sorgo rojo CIAP R-132 con cebada malteada (Nieblas Morfa et al., 2016).

De acuerdo con los resultados de la tabla 2, tanto el porcentaje de alcohol como el extracto original de la cerveza obtenida a escala de banco, tienen valores inferiores a los reportados por la bibliografía y para la cerveza Tínima, respectivamente, lo cual puede deberse a la baja concentración de azúcares en el mosto previo a la fermentación, ya que únicamente se metabolizan aquellos azúcares fermentables extraídos del sorgo durante la etapa de maceración, pues no se agregan cantidades adicionales de sacarosa u otros aditivos o licores ricos en azúcares.

Por otra parte, el porcentaje de acidez se encuentra dentro de los límites establecidos para la cerveza Tínima (1.12-3.50%) (MINAL, 2009), lo cual puede ser debido a la baja presencia de microorganismos contaminantes productores de ácido láctico y otros compuestos ácidos (o lo que es lo mismo, generadores de acidez) en el mosto como consecuencia de la realización de un proceso de cocción previo a la etapa de fermentación, el cual constituye un método efectivo para esterilizar el mosto antes de ser fermentado. Considerando estos resultados, se recomienda efectuar estudios posteriores a escala de laboratorio en donde se incluya la etapa de cocción en el proceso productivo.

CONCLUSIONES

- El remojo del sorgo rojo en solución de NaOH a 0.1% m/m permite obtener, en un menor tiempo, resultados del porcentaje de germinación superiores a los obtenidos mediante remojo en agua.
- El comportamiento del pH durante la maceración se mantiene dentro del intervalo deseado (5.5-7.0), con tendencia a la disminución.
- Se obtienen mayores valores de °Bx durante la maceración al emplear la enzima exógena Fungamyl 800 I.
- Se obtuvo un valor promedio de °Bx igual a 4.41 al finalizar la etapa de maceración.
- Se obtuvo un valor promedio de porcentaje de alcohol de 1.28%, por debajo del valor mínimo establecido para la cerveza Tínima y en la bibliografía consultada.
- Se alcanzó un valor promedio de extracto original de 3.68, por debajo del valor mínimo establecido para la cerveza Tínima.
- Se obtuvo un promedio de porcentaje de acidez de 4.26%, superior a los valores reportados por la literatura y para la cerveza Tínima.
- La cerveza obtenida en la prueba a escala de banco presentó un porcentaje de alcohol de 0.56, valor de extracto original de 3.46 y acidez de 1.29.
- Se recomienda realizar la etapa de remojo en solución de NaOH 0.1% m/m, llevar a cabo la etapa de cocción en el proceso productivo, añadir sacarosa o compuestos ricos en azúcares fermentables al mosto antes de la fermentación y agregar la enzima exógena Fungamyl 800 I durante el proceso de maceración.

REFERENCIAS

- Bernal Negrete, L. G., Pérez Rodríguez, G. I., & Delgado Morales, R. (2015). Transformación e innovación de granos: El sorgo para la elaboración de cerveza artesanal. En *Memorias del 20° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México*, Cuernavaca, Morelos, México.
- Carvajal, N. (2014). *Perfeccionamiento del proceso de producción de cerveza a partir de malta de sorgo* (Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas Villa Clara, Cuba). Recuperada de <http://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/158>
- Chaviano Marañón, M. (2005). El sorgo: Contribución al desarrollo sostenible y ecológico de la producción popular de arroz. *Agricultura Orgánica*, 1(1), 8-11.
- Díaz Rodríguez, Y. (2014). *Perfeccionamiento del proceso de malteado de sorgo para la producción de maltinas para enfermos celíacos* (Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas Villa Clara, Cuba). Recuperada de <http://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/194>
- French, B. J., & McRuer, G. R. (1990). Malt quality as affected by various steep aeration regimes. *Technical Quarterly Master Brewers Association of the Americas*, 27(1), 10-14.
- Gallardo Aguilar, I., Boffill Rodríguez, Y., Ozuna, Y., Gómez, O., Pérez, M., & Saucedo Castillo, O. (2013). Producción de bebidas usando sorgo malteado como materia prima para enfermos celíacos. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(1), 61-74.
- Gallardo Aguilar, I., Boffill Rodríguez, Y., Rega López, L., Pino Hurtado, M. S., Rodríguez Padrón, Y., & Pérez Pentón, M. (2018). Perfeccionamiento del proceso de malteado de sorgo UDG-110 en la elaboración de bebidas para enfermos celíacos. *Revista Centro Azúcar*, 45(2), 46-58.
- Kayodé, P., Adegbidi, A., Hounhouigan, J. D., Linnemann, A. R., & Nout, R. (2005). Quality of farmers' varieties of sorghum and derived foods as perceived by consumers in Benin. *Ecology of Food and Nutrition*, 44(4), 271-294.
- Lyumugabe, F., Gros, J., Nzungize, J., Bajyana, E., & Thonart, P. (2012). Characteristics of African traditional beers brewed with sorghum malt: A review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 16(4), 509-530.
- Lyumugabe, F., Kamaliza, G., Bajyana, E., & Thonart, P. H. (2010). Microbiological and physico-chemical characteristic of Rwandese traditional beer "Ikigage". *African Journal of Biotechnology*, 9(27), 4241-4246.
- MINAL. (2009). *Manual de Métodos de Ensayo*. Camagüey: Laboratorio Central- Empresa Cervecería Tímina-Ministerio de la Industria Alimenticia.
- Nanadoum, N., & Pourquie, J. (2009). 5-Sorghum beer: Production, nutritional value and impact upon human health. En *Beer in Health and Diseases Prevention* (pp. 53-60). US: Elsevier Academic Press.
- Nieblas Morfa, C., Gallardo Aguilar, I., Rodríguez Rodríguez, L., Carvajal Mena, N., González Chávez, J. F., & Pérez Pentón, M. (2016). Obtención de bebidas y otros productos alimenticios a partir de dos variedades de sorgo. *Revista Centro Azúcar*, 43(3), 66-77.
- Ortega Díaz, M. (2016). *Producción de cerveza empleando integralmente el grano de sorgo* (Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas Villa Clara, Cuba).
- Ramatoulaye, F., Mady, C., Fallou, S., Amadou, K., Cyril, D., & Massamba, D. (2016). Production and use sorghum: A literature review. *Journal of Nutritional Health & Food Science*, 4(1), 1-4. doi: 10.15226/jnhfs.2016.00157
- Ratnavathi, C. V., & Chavan, U. D. (2016). Malting and brewing of sorghum. En C.V. Ratnavathi, J.V. Patil, & U. D. Chavan (Eds.), *Sorghum biochemistry. An industrial perspective* (pp. 63-106). Oxford: Academic Press.
- Rodríguez Rodríguez, L., Gallardo Aguilar, I., Nieblas Morfa, C., Medina Macola, J., & Ortiz Fernández, W. (2015). Obtención de jarabes dextrinizados mediante hidrólisis enzimática del almidón de sorgo. *Revista Centro Azúcar*, 42(4), 49-58.
- Rodríguez Rodríguez, L., Gallardo Aguilar, I., Nieblas Morfa, C., & Ortiz Fernández, W. (2015). Evaluación de dos variedades de sorgo para la obtención de almidón. *Revista Centro Azúcar*, 42(1), 88-95.

Caracterización hidrográfica de las cuencas de la Bahía de Navidad, Jalisco, México

Hydrographical characteristic of basins of Bahía de Navidad, Jalisco, Mexico

José Mariscal-Romero*✉, Tunuary Roberto Chávez-González*, Judith Arciniega-Flores*

Mariscal-Romero, J., Chávez-González, T. R., & Arciniega-Flores, J. (2019). Caracterización hidrográfica de las cuencas de la Bahía de Navidad, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 38-46.

RESUMEN

Con base en diferentes parámetros e índices hidrográficos se realizó una caracterización física del área de drenaje de la Bahía de Navidad, Jalisco, México. Los resultados permitieron identificar, y definir con mayor precisión las bases del comportamiento hidrográfico de tres pequeñas subcuencas que drenan y desembocan en el océano Pacífico; 1) Arroyo El Pedregal de peligrosidad alta impacta de manera independiente sobre San Patricio-Melaque, 2) Arroyo El Organito de peligrosidad moderada desemboca en laguna El Tule, y zonas urbanizadas aledañas, 3) Arroyo Seco de baja peligrosidad determina las condiciones hidrológicas de laguna Barra de Navidad. Se concluye que el deterioro ambiental, alto grado de fragmentación ecológica y deforestación, aunados a especificidades hidrográficas calculadas por los índices, las hace altamente susceptibles en diferentes

grados a situaciones de riesgo y emergencia por inundaciones, aluviones y deslaves ante eventos hidrometeorológicos cada vez más frecuentes y potentes de los últimos años.

ABSTRACT

A physical characterization of the drainage area of the Bahía de Navidad, Jalisco, Mexico was carried out, based on different parameters and hydrographic indices. The results allowed to identify and define more precisely the baseline of the hydrographic behavior of three small "sub" basins that drain and flow into Pacific Ocean. 1) Arroyo El Pedregal a high-risk creek impacts independently on San Patricio-Melaque, 2) Arroyo El Organito a moderate risk creek runs into El Tule lagoon, and surrounding urbanized areas, 3) Arroyo Seco it is low hazard that determines the hydrological conditions of Barra de Navidad lagoon. In conclusion, environmental deterioration, high degree of ecological fragmentation and deforestation, coupled with hydrographic specificities calculated by indexes, makes them highly susceptible in different degrees to situations of risk and emergency due to floods and alluvial landslides, in face of increasingly frequent and powerful hydrometeorological events in recent years.

Palabras clave: Bahía de Navidad; Jalisco; cuencas; hidrografía; descripción; SIG.

Keywords: Bahía de Navidad; Jalisco; basin; hydrography; description; GIS.

Recibido: 5 de julio de 2018, aceptado: 8 de febrero de 2019

* Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Gómez Farías 82, San Patricio-Melaque, C. P. 48980, Jalisco, México. Correo electrónico: mariscal@costera.melaque.udg.mx; tunuary@gmail.com; juditha226@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0978-0480>; <http://orcid.org/0000-0003-2435-2695>; <http://orcid.org/0000-0001-9775-6450>

✉ Autor para correspondencia

INTRODUCCIÓN

Aun con el avance en la tecnología de percepción remota, del software de los sistemas de información geográfica y de la disponibilidad de amplias bases de datos como las del Instituto Nacional de Estadística

y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Mexicano de Tecnología de Agua (IMTA), el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), así como del Instituto de Información Estadística y Geografía del Estado de Jalisco (IIG-Jalisco), es particularmente evidente en los trópicos la falta de planes de manejo que incorporen variables ambientales, el manejo de las presiones derivadas del crecimiento y las verdaderas necesidades de desarrollo de las poblaciones costeras.

Uno de los aspectos fundamentales en la comprensión del funcionamiento ecosistémico es la caracterización física de las cuencas (Martínez-Ramos et al., 2012; Mas, Velázquez, & Couturier, 2009). Esta caracterización es muy importante porque tiene que ver con la forma de las mismas, se trata de la configuración geométrica tal y como está proyectada sobre el plano horizontal (Llamas, 1993). Esta forma controla la tasa a la cual se suministra el agua al cauce principal, desde el nacimiento hasta su desembocadura, por tanto, determina el caudal potencial y peligrosidad de avenidas y/o inundaciones (Guilarte, 1978).

El objetivo de este trabajo fue describir y caracterizar las cuencas que confluyen en la Bahía de Navidad, Jalisco, México, a una escala menor y más precisa; sin embargo, esta caracterización es solo una parte del diagnóstico integral de las mismas, pues el conocimiento de la conducta histórica del conjunto de factores como calidad, composición bioquímica del agua, así como el rumbo que sigue a través de su cauce, a los humedales y/o en los afluentes temporales y perennes de la bahía, permitirán distinguir las dinámicas geomorfológicas históricas y otros procesos ecológicos de funcionamiento que mantienen los patrones reproductivos, la distribución de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos regionales (Martínez-Ramos et al., 2012; Moberg & Rönnbäck, 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

La Bahía de Navidad se localiza en la cuenca: Chacala-Purificación, entre las cuencas de los ríos Marabasco y Purificación. El territorio corresponde espacialmente a cuatro municipios de Jalisco, en el que Cihuatlán presenta la mayor superficie (67.3%), seguido de Cuautitlán (21.2%), La Huerta (8.4%) y, por último, Casimiro Castillo (3.1%).

Dentro de Bahía de Navidad existen tres corrientes temporales, pequeñas y estrechas, que encierran a ríos de poco volumen y longitud, drenan inmediatamente hacia el sur (por carecer de lineamientos estructurales este-oeste) al océano Pacífico por la bahía. Las cuencas de estas tres escorrentías (ríos/arroyos) presentan una marcada estacionalidad de flujo, que se asocia al temporal ciclónico y con excepción del Arroyo Seco, que en ocasiones sostiene un caudal mínimo todo el año, permanecen secos en invierno y primavera (figura 1). Estos arroyos-ríos son El Pedregal, El Organito-El Barro y Arroyo Seco; son temporales, de carácter torrencial y sus caudales y máximas avenidas se relacionan con la frecuencia e intensidad del temporal de lluvias durante la temporada de huracanes del Pacífico Central mexicano.

Con base en la información vectorial del INEGI, de las cartas E13b41, E13b42, E13b31 y E13b32, del continuo de elevaciones mexicano formato ráster (CEM versión 3.0 INEGI) con una resolución de 30 m; CE versión II continuo de escurrimientos; 1:50,000 INEGI; Edafología, información vectorial 1:50,000; formato shape, IIEGI-Jalisco e imágenes de

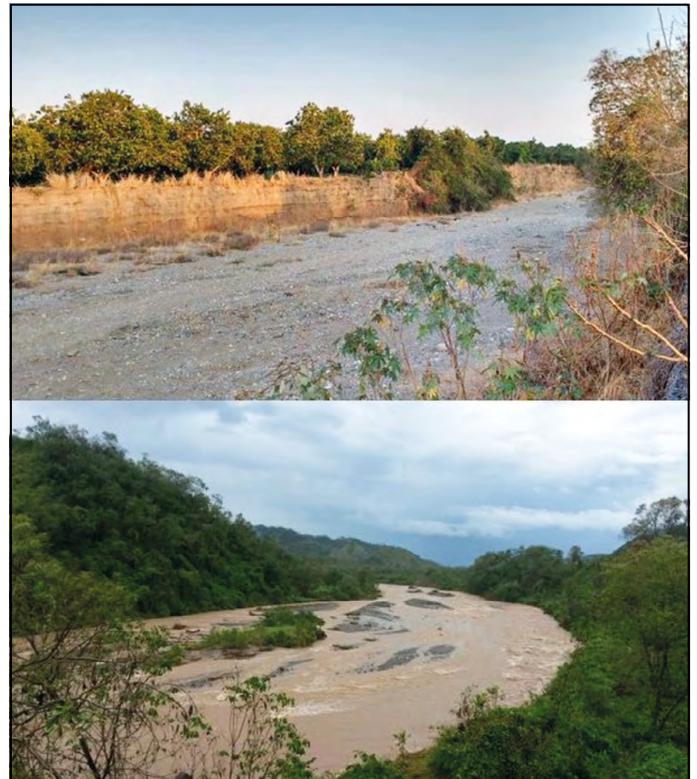


Figura 1. Arroyo El Pedregal en secas y en caudal pico. Fotografías tomadas por Judith Arciniega.

satélite Landsat del área (INEGI, 2007), entre otros. Con la ayuda de programas computacionales especializados como ArcView 3.1, Arc Gis 9.2, Didger 3 y Surfer 8 se analizaron, describieron y construyeron un modelo digital de elevación; así como mapas temáticos propios, de topografía, hidrografía, uso de suelo y vegetación, edafología. Se delimitó cada una de las cuencas de la bahía al seguir los parteaguas hasta su desembocadura en el océano Pacífico, desde Punta Graham a Punta Melaque, en Bahía de Navidad, Jalisco.

A partir de las imágenes, con la técnica anterior se definieron cada una de las tres cuencas hidrográficas: 1) El Pedregal-San Patricio (EP-SP), 2) El Organito-El Tule (EO-ET) y 3) Arroyo Seco-Barra de Navidad (AS-BN). Se realizaron recortes de las coberturas de la información vectorial de cada una y se calcularon las variables e índices hidrográficos como parte de la caracterización. Además, se analizaron los cambios en el uso de suelo. Con los registros pluviométricos de tres estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio; Cihuatlán (14028), Chiflón (14048) y Apazulco (14011), gestionadas por el SMN y la CONAGUA, con estos registros y por el método de las isoyetas, se construyeron las curvas de precipitación mediante interpolación por Kringing. Para calcular la precipitación media anual se utilizó la fórmula:

$$P = \frac{(p_1 a_1) + (p_2 a_2) + (p_3 a_3) + \dots + (p_n a_n)}{A} \quad \text{o} \quad P = \frac{\sum p_n a_n}{A}$$

donde P es la precipitación media en la cuenca
 p 1...n = precipitación media que corresponde al área entre dos isoyetas
 a = el área comprendida entre dos isoyetas
 A = área total de la cuenca

Por otro lado, el tiempo de concentración fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$T_c = ((0.87)(C_f)^3/R)^{0.385} \quad (\text{Kirpich, 1940})$$

donde Tc es el tiempo de concentración
 Cf = Densidad hidrológica
 R = relieve
 0.87, 3 y 0.385 son constantes

irregular compuesta por tres escorrentías tributarias temporales, que se extienden por 506.27 km², el complejo se localiza dentro de las coordenadas 525,812-560,908 este y 2'119,196-2'154,466 norte, atravesando un gradiente altitudinal que va de los 0 hasta los 1,069 m sobre el nivel del mar, dentro del paisaje fisiográfico de la provincia Costas de Jalisco y Colima. Las áreas de drenaje y captación son independientes y forman tres subcuencas: Arroyo El Pedregal-San Patricio (EP-SP), Arroyo El Organito-El Tule (EO-ET) y el río Arroyo Seco-Barra de Navidad (AS-BN), las dos últimas desembocan en las lagunas El Tule y Barra de Navidad, respectivamente, y después al Océano Pacífico, mientras que EP-SP desemboca al mar directamente (figura 2).

La forma, el relieve y la pendiente influyen en los escurrimientos, ya que una cuenca con mayor circularidad puede ser más o menos oval o más compacta, también el aumento de la pendiente del terreno aumenta la velocidad del agua y se acortan los tiempos de concentración; sin embargo, combinaciones de relieve, forma y pendiente, entre otros factores, regulan el comportamiento de los caudales de punta y el vigor de las crecidas en intersecciones de descarga, lagunas y, finalmente, en la desembocadura.

De las tres cuencas analizadas mediante los parámetros hidrográficos de forma resalta la de AS-BN por su longitud, extensión y complejidad, mientras que EP-SP destaca en las características del relieve y densidad de drenaje (tabla 1). AS-BN y EP-SP son

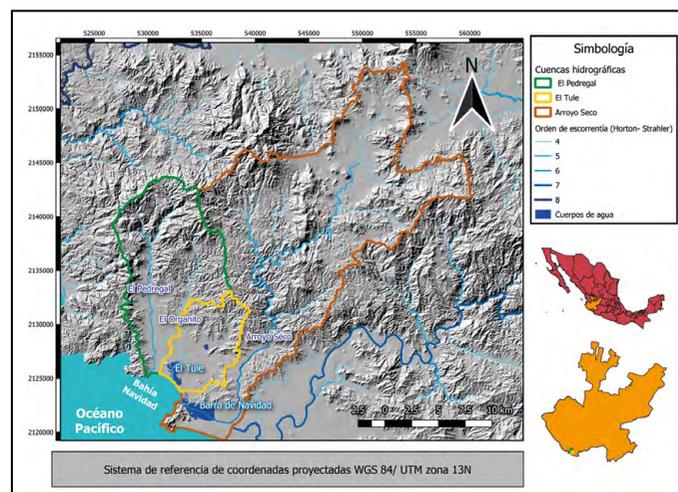


Figura 2. Área de estudio: cuencas de Bahía de Navidad, Jalisco, México. Elaboración propia con datos de INEGI (2007).

RESULTADOS

La delimitación del complejo hidrográfico de Bahía de Navidad mostró una cuenca alargada e

similares en relieve, forma y circularidad, mientras que los valores de EP-SP son parecidos a EO-ET en área, longitud, perímetro, orografía y masividad.

El análisis de la red hidrográfica a partir de la comparación en los índices de intensidad fluvial permite comparar las tres redes entre sí para discernir sobre las diferencias en las formas, relaciones y procesos hidrológico-erosivos de cada cuenca. En relación con los índices de intensidad fluvial (tabla 2), AS-BN es la cuenca más alta, larga, con mayor

perímetro y mayor tiempo de concentración de las tres, y alcanza escorrentías de orden 6 (tabla 3); sin embargo, EP-SP que solo alcanza escorrentías de orden 5 sobresale por sus altos índices de densidad hidrológica y de drenaje, de coeficiente de torrencialidad y una alta variabilidad en su relación de bifurcación entre órdenes. Por otro lado, EO-ET es la de menor pendiente, tiene el menor tiempo de concentración y el valor más alto de mantenimiento del cauce.

Tabla 1
Características hidrográficas de las cuencas de Bahía de Navidad (forma y relieve)

PARÁMETROS	SUBCUENCAS DE LA BAHÍA DE NAVIDAD			
	HIDROGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA	El Pedregal-San Patricio	El Organito-El Tule	Arroyo Seco-Bahía de Navidad
Área (km ²)		80.11	76.97	349.19
Longitud (km)		23.789	17.2	39.05
Anchura (km)		4.63	5.18	13.5
Perímetro (km)		61.24	52.66	139.16
Descripción fisiográfica del relieve/perfil longitudinal	Frente intermedio-cañones-planicie angosta-mar	Lomeríos-planicie ancha-laguna-mar	Frente elevado-Valle intermontano-F intermedio-cañones-planicie ancha-laguna-mar	
Relieve (m s. n. m.)	0-835	0-340	0-1,069	
Densidad de drenaje	3.6	2.5	2.7	
Patrón de drenaje	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico	
Tipo de cuenca	Exorreica	Exorreica	Exorreica	
Relieve (m s. n. m.)	0-835	0-340	0-1,069	
Relación de Forma Horton	0.234	0.324	0.238	
Factor de forma Gravelius	3.37	4.48	8.94	
Compacidad Gravelius	1.916	1.681	2.085	
Índice de alargamiento	3.998	2.768	2.836	
Factor de circularidad	0.268	0.349	0.227	
Pendiente del canal principal (%)	6.208	4.966	2.022	
Coficiente orográfico Fournier	0.320	0.292	1.031	
Coficiente de masividad Martonne	1.997	1.949	1.718	
Longitud del cauce (km)	20.54	13.503	64.043	
Altura media (m)	160	150	600	

Nota: Elaboración propia con datos del INEGI (2007).

Tabla 2
 Intensidad fluvial de las cuencas de Bahía de Navidad

PARÁMETROS INTENSIDAD FLUVIAL	SUBCUENCAS DE LA BAHÍA DE NAVIDAD		
	El Pedregal- San Patricio	El Organito- El Tule	Arroyo Seco- Bahía de Navidad
Número de escurrimientos	421	251	961
Densidad hidrológica	5.255	3.261	2.752
Densidad de drenaje (km/río/km/área)	3.63	2.47	2.73
Coefficiente de torrencialidad	4.319	2.611	2.19
Longitud promedio de los escurrimientos	0.069	0.101	0.092
Constante para mantenimiento del cauce	0.275	0.405	0.366
Valor medio de bifurcación	5.557	4.275	2.106
Tiempo de concentración (h)	22.010	14.611	70.407

Nota: Elaboración propia con datos del INEGI (2007).

Tabla 3
 Clasificación de Horton para las cuencas de Bahía de Navidad

Microcuenca	Orden de escorrentía	Número de segmentos	Longitud de segmentos (km)	% Número de orden en relación con longitud de segmentos	Relación de bifurcación
El Pedregal-San Patricio	1	346	183.34	62.92	6.784
	2	51	52.02	17.85	2.550
	3	20	32.22	11.06	6.667
	4	3	10.34	3.55	3
	5	1	13.48	4.63	1
	6	---	---	---	---
El Organito-El Tule	1	201	126.16	66.37	5.289
	2	38	40.01	21.05	3.455
	3	11	11.98	6.30	11
	4	1	11.93	6.28	1
	5	---	---	---	---
	6	---	---	---	---
Arroyo Seco-Barra de Navidad	1	764	586.59	62.14	5.026
	2	152	175.97	18.64	4.606
	3	33	73.83	7.82	3.667
	4	9	49.55	5.25	4.5
	5	2	34.13	3.62	2
	6	1	23.93	2.53	1

Nota: Elaboración propia con datos del INEGI (2007).

Además de los rasgos estructurales como forma, relieve y pendiente, influyen en los escurrimientos también la influencia del trinomio suelo-agua-vegetación, que tiene un efecto significativo en el comportamiento de las escorrentías. En este sentido, dentro de la Bahía se localizan siete tipos y 10 subtipos de suelos, donde predominan los de los tipos regosol, cambisol y fluvisol (figura 3); estos sustratos se conforman por secuencias aluviales de arcillas, arenas (en EO-ET y AS-BN) y guijarros no consolidados (en EP-SP) y en los mencionados valles intermontanos, llanuras aluviales y el fondo de los valles fluviales.

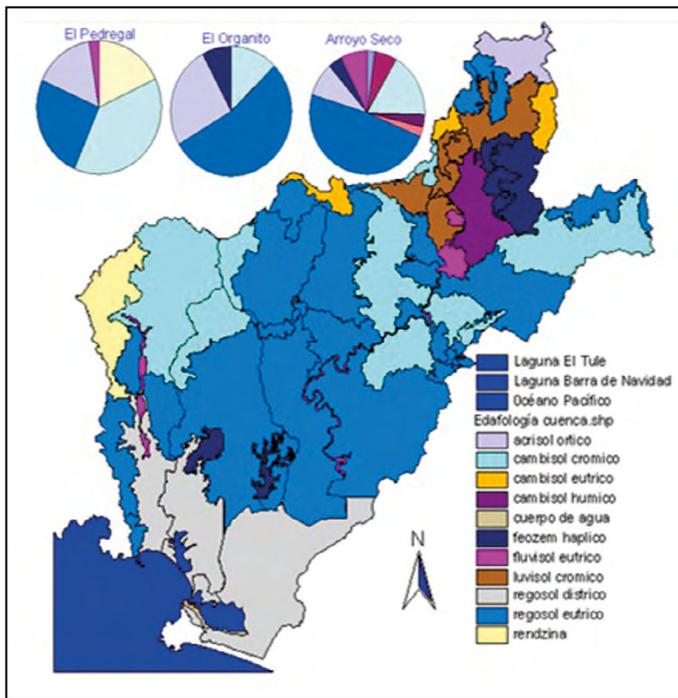


Figura 3. Mapa edafológico, distribución espacial de los tipos de suelo de Bahía de Navidad.

Elaboración propia con datos del INEGI (2007).

El fluvisol se restringe a los depósitos en franjas estrechas de los cauces de los arroyos que corren por la planicie costera, esta planicie corresponde a más de 45% del territorio, mientras los tipos restantes se localizan en las partes altas de las cuencas, en zonas de pendiente mayor a 10%, lomeríos, montes y pie de monte, los cuales representan más de 55% de la superficie. Las texturas predominantes se encuentran en las clases franco arenoso a franco limoso, en donde predominan las fracciones arena gruesa y media, y limo-arena de fina a muy fina, que indica el origen fluvial del material de partida y la influencia de la actividad eólica, debido a su

ubicación sobre pendientes <10% en el paisaje, que los hace altamente erosionables. Asociado a su tamaño, la cuenca con mayor diversidad en tipos de vegetación y usos fue Arroyo Seco-Barra de Navidad (AS-BN), con nueve asociaciones y usos, seguida por El Organito-El Tule (EO-ET) con cinco, y El Pedregal-San Patricio (EP-SP), la menos diversa y con mayor área de uso con cuatro (figura 4).

Con el análisis de los registros históricos de precipitación de las estaciones cercanas a la cuenca se construyeron cuatro isoyetas que atraviesan el gradiente altitudinal. Se determinó un valor de 708.3 mm como media anual y valores promedio anuales de 639.87, 620.65 y 734.35 mm acumulados para las vertientes EP-SP, EO-ET y AS-BN, respectivamente (figura 5).

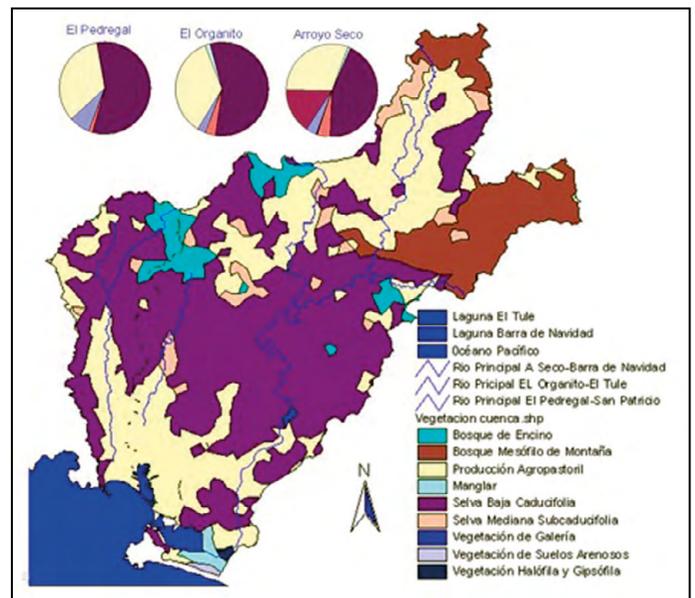


Figura 4. Mapa de asociaciones vegetales y usos de suelo de Bahía de Navidad.

Elaboración propia con datos del INEGI (2007).

DISCUSIÓN

Las tres subcuencas analizadas componen una cuenca costera marginal de naturaleza vulcano sedimentario marina, cuyo origen se remonta al Jurásico superior, combinado por granitos del Cretácico superior donde se asientan importantes abanicos fluviales, ambientes palustres y lagunares y cordones litorales del Holoceno tardío (Bandy, Kostoglodov, Hurtado-Díaz, & Mena, 1999; CETENAL-INEGI, 1981; Ferrari-Pedraglio, Morán-Zenteno, & González-Torres, 2007; Méndez Linares, López Portillo,

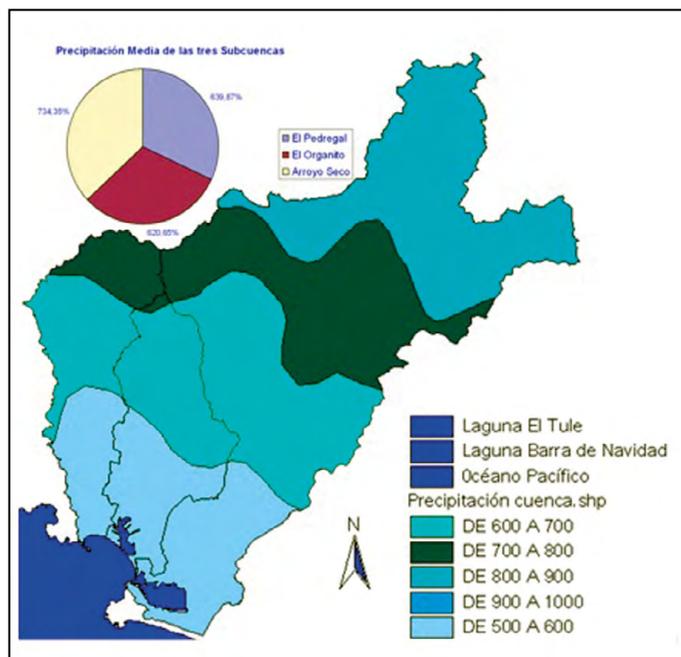


Figura 5. Distribución de la precipitación pluvial en la Cuenca Bahía de Navidad (isoyetas).
Elaboración propia con datos del INEGI (2007).

Hernández Santana, Ortiz Pérez, & Oropeza Orozco, 2007). Esta conformación constituye 45% para la planicie costera (abanicos fluviales) y 55% de superficie de alto relieve con pendientes superiores a 14% (pie de monte, lomeríos y ambientes cerriles). Debido a esta conformación topográfica los suelos que se localizan en las partes altas de las cuencas son delgados (3-40 cm), por lo que son más susceptibles a los procesos de erosión, aluviones y deslaves, transporte, colmatación de cauces y azolvamiento de cuerpos de agua; mientras que en las planicies (deltas fluviales) predominan suelos más profundos, de acuerdo con su edad y naturaleza (Gonzalez-Vazquez, Silva, Mendoza, & Delgadillo-Calzadilla, 2014; Maderey-Rascón, 1990; Méndez Linares et al., 2007; Trucíos-Caciano, Estrada-Ávalos, Cerano-Paredes, & Rivera-González, 2011).

Por otro lado, la distribución de la vegetación natural en la cuenca sigue un gradiente general altitudinal, donde se observan relictos de los bosques mesófilo de montaña y de roble-encino en las partes altas más frías; mientras que las selvas se desarrollan en las partes bajas más calientes. La altura de las selvas y la condición de pérdida de hojas (caducifolia o subcaducifolia) (Gavito et al., 2014) obedece más a patrones de distribución de los nutrientes y retención de humedad del suelo, selvas

medianas subcaducifolias en cañadas; mientras las selvas bajas caducifolias se desarrollan en zonas planas bien drenadas, con suelos pobres (Gonzalez-Vazquez et al., 2014).

Las tierras con uso agrícola de riego se localizan en las llanuras aluviales costeras, mientras que los manglares se desarrollan en los abanicos deltaicos del Arroyo Seco y Río Cihuatlán, a lo largo de la zona de transición con la laguna de Barra de Navidad, que está rodeada por vegetación de dunas en la zona litoral (Holland, Mariscal-Romero, Davidson-Arnott, & Cardille, 2011; Méndez Linares et al., 2007).

Por su naturaleza temporal, las avenidas en las tres corrientes que desembocan en la Bahía de Navidad son consecuencia de importantes escurrimientos producidos por precipitaciones muy intensas, entre 150 y 300 mm en un día y/o sostenidas hasta alcanzar esos volúmenes (Pardo-Gómez & Rodríguez-López, 2014). La relación entre intensidad-duración de las lluvias y magnitud de las crecientes es directa e inmediata con incidencia en las características propias de la cuenca (Pardo-Gómez & Rodríguez-López, 2014); esta posee pendientes mayores a 10% en más de 55% del territorio y tipos de suelo poco profundos como regosol y cambisol, de textura fina, arcillosos, poco profundos y bajo contenido orgánico, que se localizan en extensas superficies. Por tales características son considerados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en Inglés) de infiltración lenta y un alto potencial de escurrimiento, además el deterioro en distintos grados de la vegetación original producido por los intensos cambios en los usos del suelo atenuan y/o potencian diferencialmente las crecidas, las cuales causan inundaciones, deslizamientos y derrumbes (Pardo-Gómez & Rodríguez-López, 2014; Richter, 1999).

Al respecto se discute que la erosión hídrica en México es uno de los problemas ambientales que más agobia a las tierras, debido a que 65% del territorio nacional tiene pendientes mayores a 10% (Trucíos-Caciano et al., 2011) de acuerdo con la conformación geomorfológica, las condiciones particulares, las escorrentías torrenciales que se presentan en verano y principios de otoño en las cuencas de este estudio, se estima un transporte de sedimentos entre 500 y 10,000 Mg por km² por año; estos volúmenes se sitúan entre los valores de erosión más altos de México (Maderey-Rascón, 1990). La precipitación de la cuenca se distribuye

conforme al gradiente altitudinal de entre cuatro para el Arroyo Seco y tres isoyetas para El Pedregal y El Organito, con un promedio anual acumulado de 708.3 mm en la temporada comprendida entre julio y octubre, principalmente.

Los valores promedio para cada vertiente El Pedregal-San Patricio, El Organito-El Tule y Arroyo Seco-Barra de Navidad son de 639.87, 620.65 y 734.35 mm, respectivamente. Se estiman también volúmenes promedio anuales de agua en 53.61, 51.24 y 253 Mm³ para las mismas cuencas, respectivamente, esto concuerda con los valores medios de la escorrentía en Arroyo Seco, que oscilan entre 500 y 1,000 mm (Jiménez & Maderey-Rascón, 1990). Estos fenómenos hidrometeorológicos constituyen los principales mecanismos entre los procesos aluviales de formación, crecimiento y modificación geomorfológica de los abanicos deltaicos en los que se asientan las zonas urbanas de la bahía (Gonzalez-Vazquez et al., 2014).

De acuerdo con la longitud y pendiente, AS-BN presenta un mayor relieve con baja pendiente promedio del cauce, que al ser comparativamente más baja que las otras, amortigua su peligrosidad por el bajo nivel de bifurcación y por tener el mayor tiempo de concentración de 70 h; sin embargo, EP-SP, con relieve de 1,020, 5.0 nivel de bifurcación y 22 h de tiempo de concentración, es una combinación que la hace altamente peligrosa; mientras que EO-ET, con altura de 840, 6.2, se definió como de características moderadas, aunque aumenta

su peligrosidad por tener el menor tiempo de concentración de las tres (14 h). Comparativamente, los parámetros calculados de forma e intensidad fluvial son diferenciales entre sí, similares en relieve, forma y circularidad entre AS-BN y EP-SP y, de esta última, con EO-ET en área, longitud, perímetro, orografía y masividad. Por otro lado, difieren de los tiempos de concentración y sobresale EP-SP por su alta densidad de drenaje.

CONCLUSIONES

Este estudio descriptivo o caracterización hidrográfica permitió conocer más algunos de los procesos de funcionamiento del complejo hidrográfico denominado Bahía de Navidad. Las tres subcuencas que integran dicho complejo pueden considerarse una sola unidad hidrográfica, aunque con características específicas diferentes por sus conexiones a nivel planicie. La cuenca El Pedregal-San Patricio (EP-SP) es la que presenta un mayor grado de peligrosidad por sus combinaciones morfológicas e hidrográficas, pues sus caudales son recibidos directamente en la zona urbana de San Patricio-Melaque, antes de su descarga al océano Pacífico. EL Organito-El Tule (EO-ET) presenta una menor peligrosidad, pero su estabilidad ecológica es fundamental y otorga las condiciones hidro-ecológicas de la laguna de El Tule. Por otro lado, la Arroyo Seco-Barra de Navidad (AS-BN) es la de mayor volumen, más extensa y compleja, determina procesos ecológicos muy importantes en toda la Bahía y en particular en la laguna de Barra de Navidad.

REFERENCIAS

- Bandy, W., Kostoglodov, V., Hurtado-Díaz, A., & Mena, M. (1999). Structure of the southern Jalisco subduction zone, Mexico, as inferred from gravity and seismicity. *Geofísica Internacional*, 38(3), 127-136.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional-Instituto Nacional de Geografía y Estadística. (1981). *Síntesis geográfica de Jalisco*. México: Autor. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220501/702825220501_1.pdf
- Ferrari-Pedraglio, L., Morán-Zenteno, D., & González-Torres, E. A. (2007). Actualización de mapa geológico de México escala 1:4,000,000. En *Nuevo Atlas Nacional de México* [Mapa]. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://www.geologia.unam.mx:8080/igl/publs/cgm/actualizacion2007.pdf>
- Gavito, M. E., Martínez-Yrizar, A., Ahedo, R., Araiza, S., Ayala, B., Ayala, R.,... & Siddique, I. (2014). La vulnerabilidad del socio-ecosistema de bosque tropical seco de Chamela, Jalisco, al cambio global: un análisis de sus componentes ecológicos y sociales. *Investigación Ambiental*, 6(2), 109-126.
- Gonzalez-Vazquez, J. A., Silva, R., Mendoza, E., & Delgadillo-Calzadilla, M. A. (2014). Towards coastal management of a degraded system: Barra de Navidad, Jalisco, Mexico. *Journal of Coastal Research*, 71 (special Issue 1), 107-113. doi: 10.2112/SI71-013.1
- Guilarte, R. (1978). *Hidrología Básica*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Holland, T. L., Mariscal-Romero, J., Davidson-Arnott, R., & Cardille, J. (2011). Landscape changes in a coastal system undergoing tourism development: implications for Barra de Navidad Lagoon, Jalisco, Mexico. *Investigaciones Geográficas*, 74, 7-18.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2007). *Continuo de elevaciones mexicano 3.0 (CEM 3.0)*. México: Autor. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continuoelevaciones.aspx>
- Jiménez, R. A., & Maderey-Rascón, L. E. (1990). Escurrimiento medio anual IV.6.4, escala 1:4000,000 [Mapa]. En A. García de Fuentes (Ed.), *Atlas Nacional de México*. II. Naturaleza. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra_mapa.php?cual_mapa=TII-IV-6-4.jpg
- Kirpich, P. Z. (1940). [Ecuación hidrológica].
- Llamas, J. M. (1993). *Hidrología General. Principios y aplicaciones*. Bilbao, España: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- Maderey-Rascón, L. E. (1990). Volumen medio anual de sedimentos en suspensión IV.6.4, escala 1:4000,000 [Mapa]. En A. García de Fuentes (Ed.), *Atlas Nacional de México*. II. Naturaleza. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/muestra_mapa.php?cual_mapa=TII-IV-6-4.jpg
- Martínez-Ramos, M., Barraza, L., Balvanera, P., Benítez-Malvido, J., Bongers, F., Castillo Álvarez, A.,... & Zermeño Hernández, I. (2012). Manejo de bosques tropicales: bases científicas para la conservación, restauración y aprovechamiento de ecosistemas en paisajes rurales. *Investigación Ambiental*, 4(2), 111-129.
- Mas, J. F., Velázquez, A., & Couturier, S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental*, 1(1), 23-39.
- Méndez Linares, A. P., López Portillo, J., Hernández Santana, J. R., Ortiz Pérez, M. A., & Oropeza Orozco, O. (2007). The mangroves communities in the Arroyo Seco deltaic fan, Jalisco, Mexico, and their relation with the geomorphic and physical-geographic zonation. *Catena*, 70(2), 127-142.
- Moberg, F., & Rönnbäck, P. (2003). Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. *Ocean and Coastal Management*, 46(1-2), 27-46.
- Pardo-Gómez, R., & Rodríguez-López, Y. (2014). Clasificación de tormentas tropicales según lluvias asociadas: (2) resultados. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 35(2): 35-51. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v35n2/riha03214.pdf>
- Richter, M. (1999). Ecological crisis in Chiapas: A case study in Central America. *Mountain Research and Development*, 51(7), 370-377.
- Trucíos-Caciano, R., Estrada-Ávalos, J., Cerano-Paredes, J., & Rivera-González, M. (2011). Interpretación del cambio en vegetación y uso de suelo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 359-367.

Prevalencia de infecciones de vías urinarias en el embarazo y factores asociados en mujeres atendidas en un centro de salud de San Luis Potosí, México

Prevalence of urinary infections in pregnancy and associated factors in women attended in a health center of San Luis Potosí, Mexico

Ma. de Lourdes Zúñiga-Martínez*, Karina López-Herrera**, Ángel Antonio Vértiz-Hernández**, Alejandra Loyola-Leyva*, Yolanda Terán-Figueroa***✉

Zúñiga-Martínez, M. L., López-Herrera, K., Vértiz-Hernández, A. A., Loyola-Leyva, A., & Terán-Figueroa, Y. (2019). Prevalencia de infecciones de vías urinarias en el embarazo y factores asociados en mujeres atendidas en un centro de salud de San Luis Potosí, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 47-55.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue identificar la prevalencia de infecciones de vías urinarias (IVU) y su relación con factores de riesgo en mujeres embarazadas. Se observó una prevalencia de la infección en el 80% del total de expedientes revisados, esta se presentó principalmente durante el primer trimestre del embarazo (55.1%). Los cuadros clínicos con síntomas típicos fueron reportados en 40.2% de los casos mientras que los de sintomatología atípica sólo se encontraron en 4.3%; no se encontraron diferencias significativas del padecimiento entre los diferentes grupos de edad (0.55F). El análisis estadístico tampoco fue significativo en la correlación de IVU

Palabras clave: embarazo; complicación en el embarazo; factores de riesgo; prevalencia; infección urinaria; bacteriuria.

Keywords: pregnancy; pregnancy complications; risk factors; prevalence; urinary infection, bacteriuria.

Recibido: 24 de julio de 2018, aceptado: 8 de febrero de 2019

* Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Avenida Venustiano Carranza 2405, Los Filtros, C. P. 78210, San Luis Potosí, México. Correo: zunigalulu@hotmail.com; aleloleyva@yahoo.com.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8582-1013>; <http://orcid.org/0000-0002-0355-803X>

** Coordinación Académica Región Altiplano, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera las Trojes km 5, Matehuala, C. P. 78700, San Luis Potosí, México. Correo: lokapunki@hotmail.com; antonio.vertiz@uaslp.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7308-9868>; <http://orcid.org/0000-0002-7555-8303>

*** Facultad de Enfermería y Nutrición, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Avenida Niño Artillero 130, Zona Universitaria, C. P. 78240, San Luis Potosí, México. Correo: yolandat@uaslp.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6118-6393>

✉ Autor para correspondencia

y complicaciones del embarazo. Se concluye que la prevalencia de la infección urinaria en gestantes atendidas en la institución clínica de estudio es alta, pero esta no representó un factor de riesgo para el desarrollo y resolución del embarazo.

ABSTRACT

The aim of the present work was to identify the prevalence of infections of urinary tract (UTI) and his relations with risk factors in pregnant women. In 80% of total medical records observed UTI's prevalence during pregnancy, the infections appeared mainly during the first quarter of pregnancy (55.1%). The clinical picture with typical symptoms appeared in 40.2% of cases and just 4.3% reported atypical symptomatology, so there is no significant differences between the UTI and pregnancy complications. We conclude that prevalence of urinary infection is high in pregnant women receiving health services in the clinical institution of study, but this does not represent a factor of risk for the development and resolution of pregnancy.

INTRODUCCIÓN

Las infecciones de vías urinarias (IVU) constituyen la primera causa de consulta médica en mujeres en edad reproductiva. Además, se ha reportado que de 40% a 60% de las mujeres padecerán un episodio de IVU durante su vida y de 3% a 5% tendrán múltiples recurrencias (Sheffield & Cunningham, 2005).

En México, las IVU son consideradas un problema de salud pública. En 2016 ocuparon el segundo lugar de morbilidad en la población femenina con

3,149,091 casos nuevos (Sistema Único de Vigilancia Epidemiológica, 2016 a). Además, la incidencia y prevalencia de IVU muestra una tendencia a incrementarse en los siguientes años. Por ejemplo, la tasa de incidencia en la población general tuvo incrementos importantes en 2012 con 3,430 casos/100,000 hab, comparado con 2006 con 2,861 casos/100,000 hab (Secretaría de Salud, 2013).

Algunos factores de riesgo asociados con la aparición de las IVU son el embarazo, la edad, el inicio de vida sexual, entre otros. Durante el embarazo se incrementa la predisposición a IVU, principalmente durante el segundo y tercer trimestre, lo que convierte a dichas infecciones en la segunda complicación médica más común durante la gestación. Por ejemplo, Hernández-Blas et al. (2007) reportaron que de 5% a 10% de las gestantes mexicanas presentaron por lo menos un evento de IVU. Asimismo, 10% del ingreso hospitalario en gestantes se debe a IVU. Este aumento en la predisposición durante el embarazo es debido a que se produce la modificación en la anatomía y función de uretra y vejiga, como obstrucción mecánica subsecuente al útero grávido, disminución del peristaltismo de uréteres, estasis vesical y cambios de pH (Autún Rosado, Sanabria Padrón, Cortés Figueroa, Rangel Villaseñor, & Hernández-Valencia, 2015).

Se reconocen tres tipos de IVU relacionados con el embarazo: a) la bacteriuria asintomática o presencia de bacterias en la orina sin manifestaciones clínicas; b) la cistitis aguda o presencia de bacterias en la orina manifestada por un cuadro típico de disuria, micciones frecuentes y con urgencia, ardor al orinar, molestias en la parte baja del abdomen y hematuria y c) la pielonefritis o infección aguda del tejido renal manifestada por fiebre y escalofríos, náuseas y vómito, dolor lumbar y dolor a la percusión costovertebral (Secretaría de Salud, 2016 b).

Otro factor de riesgo para presentar IVU es la edad de la gestante, ya que se ha detectado que a menor edad, mayor es el riesgo de complicaciones perinatales. Para 2016 se reportó que el grupo de 25 a 44 años concentró el de mayor número de eventos, también las mujeres entre 15 y 24 años presentaron un número significativo de casos: 615, 837 (SUIVE, 2016 a). García-Salgado, Sánchez-Chávez y González-Aldeco (2017) observaron que las embarazadas adolescentes presentaron 2.5 veces mayor riesgo de parto pretérmino, enfermedad

hipertensiva y restricción de crecimiento intrauterino que las embarazadas adultas.

La importancia de prevenir la aparición de IVU durante el embarazo radica en que constituyen un factor de riesgo importante en la mortalidad perinatal debido a la predisposición de algunas mujeres a desarrollar pielonefritis y al uso subsecuente de fármacos teratogénicos o con efectos tóxicos para el producto (Szweda & Józwick, 2016). Entre las complicaciones más frecuentes de IVU en la mujer embarazada está el parto prematuro (Acosta Terriquez, Ramos-Martínez, Zamora-Aguilar, & Murillo-Llanes, 2014). Por otro lado, estas infecciones pueden afectar la salud de la gestante al desarrollar una enfermedad renal o sistemática grave (Quiroga-Feuchter, Robles-Torres, Ruelas-Morán, & Gómez-Alcalá, 2007).

Se realizó este estudio con el objetivo de identificar la prevalencia de infecciones de vías urinarias y su relación con algunos factores de riesgo y complicaciones en mujeres embarazadas que acudieron a control prenatal a un centro de salud en San Luis Potosí, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Población de estudio y muestreo

El estudio es de tipo retrospectivo, se utilizaron datos secundarios, ya que la información sobre el número de casos de IVU, los factores de riesgo y las complicaciones de embarazo se obtuvieron de los registros de control prenatal de mujeres embarazadas que acudieron desde julio de 2014 hasta enero de 2016 al centro de salud de la ciudad de San Luis Potosí, México.

Los registros de control prenatal seleccionados fueron de mujeres embarazadas que respondieron a los criterios de inclusión (tener registros de al menos tres consultas durante el periodo de gestación) y exclusión (registros de control prenatal con diagnóstico clínico de alguna comorbilidad - preeclampsia, eclampsia, diabetes gestacional, entre otras- y aquellos que no contaban con los datos suficientes para la realización de la investigación).

Variables

Las variables estudiadas fueron sociodemográficas (edad y escolaridad), antecedentes ginecoobsté-

tricos (menarca, inicio de la vida sexual activa, número de gestaciones, partos, abortos, cesáreas, complicaciones durante el embarazo) y la presencia de IVU (síntomas, cantidad de bacterias, tratamiento). Para el estudio se definió *adolescente* como la mujer entre 13 y 18 años.

Los resultados de los urocultivos fueron obtenidos de los registros de control prenatal del centro de salud, los cuales se encontraron clasificados como a) bacterias ausentes (si no se presentó desarrollo bacteriano), b) bacterias escasas (+), moderadas (++) y abundantes (+++).

El diagnóstico de la IVU fue también tomado de los registros médicos del centro de salud, así como los síntomas de la infección, los cuales se encontraron descritos en los registros de control prenatal y clasificados como sigue: 1) cuadro clínico asintomático: cuando se reportó la presencia de un cultivo de orina positivo en una mujer que no presentaba ningún síntoma clínico; 2) cuadro clínico típico: cuando la mujer reportó dolor, leucorrea, ardor, tenesmo, polaquiuria; y cuadro clínico atípico cuando la gestante reportó 3) náuseas; 4) sangrado leve (presencia de gotas de sangre o manchado parecido a sangrado menstrual) y/o 5) actividad uterina leve (contracciones no efectivas).

Igualmente, las complicaciones se categorizaron según lo que marca la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-007-SSA2-2016 (SSA, 2016 a) en 1) ninguna; 2) amenaza de aborto (es la posibilidad de presentar un aborto espontáneo antes de las 20 semanas de gestación); 3) parto prematuro (es decir, la expulsión del producto del organismo materno de 28 semanas a menos de 37 semanas de gestación); 4) otras (como retardo en el crecimiento intrauterino, hemorragia obstétrica, utilización de fórceps, sufrimiento fetal, ruptura prematura de membranas, meconio en fase latente).

Análisis estadístico

Se probó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Todos los datos están reportados como media y desviación estándar o como proporciones y frecuencias. Se utilizaron las pruebas de Fisher para comparar variables categóricas y la ANOVA o Kruskal Wallis para comparar variables continuas. Los análisis fueron realizados con el programa STATA 12 (Stata Corp., College Station, Texas).

Consideraciones éticas

El proyecto fue aprobado por las autoridades del centro de salud República de la ciudad de Matehuala, S. L. P., quienes permitieron el acceso a los registros de control prenatal.

RESULTADOS

Se recolectó un total de 134 expedientes, los cuales conformaron la muestra del estudio. Las gestantes que acudieron a control prenatal durante el periodo de estudio se encontraron entre los 14 y 46 años. En la tabla 1 se muestran las características de la población de estudio, se puede observar que el subgrupo de edad entre 19 y 25 años fue el más grande (39%). La mayoría de las embarazadas contaba con estudios de secundaria (46%) y muy pocas con nivel licenciatura (5%).

De las gestantes, 84.4% llegó al término del embarazo durante el periodo de estudio; 47.8% tuvo una resolución por parto natural; mientras 36.6% fue por cesárea. En cuanto a complicaciones durante la gestación, 72% no tuvo ninguna; 22% presentó retardo en el crecimiento intrauterino, hemorragia obstétrica, sufrimiento fetal, ruptura prematura de membranas (tabla 1). En cuanto a la prevalencia de IVU en mujeres embarazadas del centro de salud se observó una prevalencia de 81%. Además, 45% de la población reportó padecer algún síntoma durante su embarazo, 73% presentó bacterias en la orina (figura 1) y 72% recibió algún tipo de tratamiento farmacológico (tabla 1).



Figura 1. Cultivo de *Escherichia coli*. La muestra se obtuvo de orina de una paciente embarazada que cursaba con IVU. Se observa el color característico verde metálico de las colonias en medio eosina y azul de metileno (EMB). Elaboración propia.

Tabla 1
 Características generales de la población de estudio

	Media ± DE n (%)
Datos sociodemográficos	
Edad (años)	23.62 ± 7.03
Adolescentes	39 (29)
De 19 a 25 años	52 (39)
De 26 a 30 años	18 (13)
De 31 a 35 años	14 (11)
De 36 años en adelante	11 (8)
Escolaridad	
No menciona	5 (4)
Primaria	15 (11)
Secundaria	61 (46)
Bachillerato	46 (34)
Licenciatura	7 (5)
Antecedentes ginecoobstétricos	
Menarca	12.54 ± 1.48
Inicio de la vida sexual activa	17.36 ± 2.71
Número de gestaciones	2.00 ± 1.41
Número de abortos	0.09 ± 0.36
Número de partos	0.82 ± 1.30
Número de cesáreas	0.23 ± 0.50
Producto final del embarazo	
Sin resolución	20 (15)
Parto	64 (48)
Cesárea	49 (36)
Aborto	1 (1)
Complicaciones durante el embarazo	
Ninguna	96 (72)
Amenaza de aborto	7 (5)
Parto prematuro	2 (1)
Otras	29 (22)
Presencia de IVU	
Sí	108 (81)
No	26 (19)
Cuadro clínico	
Asintomático	74 (55)
Típico	54 (40)
Náuseas	3 (2)
Sangrado leve	2 (2)
Actividad uterina leve	1 (1)
Cantidad de bacterias	
Ausentes	36 (27)
Escasas	43 (32)
Moderadas	35 (26)
Abundantes	20 (15)
Tratamiento	
Sin Tratamiento	38 (28)
Penicilinas	31 (23)
Cefalosporinas	5 (4)
Betalactámicos	1 (1)
Nitrofuranos	59 (44)

Nota: Sin resolución= la mujer aún se encontraba embarazada. IVU= infecciones de las vías urinarias. DE= desviación estándar. n= frecuencia. %= proporción.
 Elaboración propia.

En la tabla 2 se realizaron distintas asociaciones relacionadas con la edad. Por ejemplo, se evaluó la asociación entre edad y otros factores de riesgo para presentar IVU, y se encontró una diferencia estadísticamente significativa al comparar los grupos de edad y la escolaridad ($p= 0.0004$), se observó que la mayoría de los subgrupos de edad contaba con secundaria y el grupo con mayor escolaridad fue el de 19 a 25.

Según antecedentes ginecoobstétricos, el grupo de las adolescentes presentó el comienzo de la vida sexualmente activa más temprano, comparadas con otros grupos de edad ($p= 0.0001$). Se encontró una diferencia significativa ($p= 0.0001$) en el número de gestaciones por grupos de edad, ya que a mayor edad, las mujeres presentaron mayor cantidad de gestaciones (aproximadamente una en las adolescentes contra casi cinco en mujeres de 36 en adelante).

Se realizó también la asociación entre edad y prevalencia de IVU, sintomatología, cantidad de bacterias y tratamiento. Se observó una alta prevalencia de IVU en todos los grupos de edad (>60%), las mujeres de 36 años en adelante presentaron mayor proporción (>90%). Sin embargo, el análisis estadístico no mostró una asociación significativa ($p= 0.549$). En lo que concierne al trimestre de embarazo en el que se presentó la IVU en las gestantes donde la mayoría de los casos fueron identificados durante el primer trimestre y a medida que el embarazo avanzaba la presencia de IVU disminuía (tabla 2).

En casi todos los grupos de edad, la mayoría de las pacientes que cursaron con IVU mencionó no tener síntomas (55% de la población total), excepto en las mujeres mayores de 36 años, ya que 73% refirió la sintomatología de un cuadro clínico característico (disuria, polaquiuria y tenesmo). Por el contrario, síntomas atípicos como presencia de sangrado, náuseas y actividad uterina leve fueron observados principalmente entre las mujeres de 19 a 35 años (tabla 2). Sin embargo, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre grupos de edad y sintomatología.

El diagnóstico bacteriológico reveló en la mayoría de los casos presencia escasa de bacterias (32% en la población total), aunque un porcentaje importante de gestantes (27%) obtuvo como resultado del examen general de orina (EGO)

Tabla 2
Asociación entre edad, factores de riesgo, diagnóstico de IVU y complicaciones

	Adolescentes (n= 39)	19 a 25 (n= 52)	26 a 30 (n= 18)	31 a 35 (n= 14)	36 en adelante (n= 11)	Valor p
	Media ± DE n (%)					
Edad	16.7 ± 1.22	21.6 ± 1.81	28.1 ± 1.53	33.1 ± 1.64	38.5 ± 3.64	0.000 ^a
Escolaridad						
No menciona	1 (2)	0 (0)	0 (0)	4 (29)	0 (0)	0.000 ^b
Primaria	5 (13)	3 (6)	3 (17)	1 (7)	3 (27)	
Secundaria	17 (44)	21 (40)	10 (56)	6 (43)	7 (64)	
Bachillerato	16 (41)	23 (44)	4 (22)	2 (14)	1 (9)	
Licenciatura	0 (0)	5 (10)	1 (5)	1 (7)	0 (0)	
Menarca	11.7 ± 1.30	12.9 ± 1.31	12.4 ± 1.77	13.2 ± 1.03	12.8 ± 1.7	0.718 ^a
IVSA	15.7 ± 1.15	17.3 ± 1.55	19.2 ± 3.54	19 ± 4.29	18.5 ± 3.98	0.0001 ^c
Gestaciones	1.1 ± 0.22	1.5 ± 0.64	2.6 ± 1.33	3.7 ± 1.32	4.5 ± 1.69	0.0001 ^c
Producto final del embarazo						
Sin resolución						
Parto	7 (18)	9 (17)	2 (11)	1 (7)	1 (8)	0.878 ^c
Cesárea	19 (49)	26 (50)	6 (33)	8 (57)	5 (46)	
Aborto	13 (33)	16 (31)	10 (56)	5 (36)	5 (46)	
	0 (0)	1 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
Complicaciones durante el embarazo						
Ninguna	29 (74)	38 (73)	9 (50)	0 (0)	7 (64)	0.193 ^c
Amenaza de aborto	1 (3)	3 (6)	2 (11)	0 (0)	1 (9)	
Parto prematuro	0 (0)	0 (0)	1 (6)	1 (7)	1 (9)	
Otras	9 (23)	11 (21)	6 (33)	13 (93)	2 (18)	
Presencia de IVU						
Sí	31 (80)	43 (83)	15 (83)	9 (64)	10 (91)	0.549 ^c
No	8 (20)	9 (17)	3 (17)	5 (36)	1 (9)	
Dx IVU en el 1º trimestre						
Sí	16 (41)	22 (42)	11 (61)	6 (43)	4 (36)	0.640 ^b
No	23 (59)	30 (58)	7 (39)	8 (57)	7 (64)	
Dx de IVU en el 2º trimestre						
Sí	13 (33)	19 (37)	4 (22)	3 (21)	4 (36)	0.741 ^b
No	26 (67)	33 (63)	14 (78)	11 (79)	7 (64)	
Dx de IVU en el 3º trimestre						
Sí	2 (5)	2 (4)	0 (0)	0 (0)	2 (18)	0.272 ^b
No	37 (95)	50 (96)	18 (100)	14 (100)	9 (82)	
Sintomatología						
Asintomática	25 (64)	28 (54)	8 (44)	10 (72)	3 (27)	0.293 ^b
Típico	13 (33)	21 (40)	9 (50)	3 (21)	8 (73)	
Náuseas	1 (3)	1 (2)	1 (6)	0 (0)	0 (0)	
Sangrado leve	0 (0)	1 (2)	0 (0)	1 (7)	0 (0)	
Actividad uterina leve	0 (0)	1 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
Bacterias						
Ausentes	6 (15)	17 (33)	4 (22)	7 (50)	2 (18)	0.004 ^b
Escasas	10 (26)	13 (25)	10 (56)	4 (29)	6 (55)	
Moderadas	19 (49)	9 (17)	3 (17)	3 (21)	1 (9)	
Abundantes	4 (10)	13 (25)	1 (5)	0 (0)	2 (18)	
Tratamiento						
Sin Tratamiento	9 (23)	13 (25)	6 (33)	8 (57)	2 (18)	0.031
Penicilinas	17 (44)	9 (17)	2 (11)	2 (14)	1 (9)	
Cefalosporinas	1 (2)	1 (2)	2 (11)	0 (0)	1 (9)	
Betalactámicos	0 (0)	1 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
Nitrofuranos	12 (31)	28 (54)	8 (45)	4 (29)	7 (64)	

Nota: Sin resolución= la mujer aún se encontraba embarazada. IVU= infecciones de las vías urinarias. DE= desviación estándar. n= frecuencia. %= proporción. a= ANOVA. b= Prueba de Fisher. c= Kruskal Wallis.
Elaboración propia.

ausencia de bacterias. Además, se encontró una asociación significativa ($p= 0.004$) entre edad y presencia de bacterias en la orina, donde el grupo de adolescentes presentó la mayor proporción de bacterias moderadas; mientras que en las de 19 a 25 años se reportaron bacterias abundantes según los resultados de laboratorio encontrados en los expedientes.

Con respecto al manejo clínico de la afección, se encontró diferencia significativa en el uso de medicamentos entre grupos de edad; por ejemplo, la mayoría de las adolescentes recibió tratamiento con penicilinas, mientras que el resto de las embarazadas recibieron tratamiento con nitrofuranos, exceptuando el grupo de 31 a 35 años.

Finalmente, en la tabla 3 se muestran los resultados del examen de la asociación entre la presencia o ausencia de IVU con factores de riesgo y complicaciones en embarazos. Se puede observar que ni la escolaridad ni antecedentes ginecoobstétricos como el inicio de la menarca, inicio de la vida sexual o número de gestaciones, se asociaron con la presencia de IVU.

En relación con el producto final del embarazo, esta variable estuvo cercana a la diferencia estadística significativa ($p= 0.058$) y se observó en las mujeres con presencia de IVU una mayor proporción de cesáreas comparadas con las mujeres sin dichas infecciones. En cuanto a complicaciones, no se observó ninguna con IVU. Sin embargo, las mujeres con diagnóstico de IVU tuvieron más síntomas y presencia de bacterias en orina.

DISCUSIÓN

Las infecciones de vías urinarias siguen siendo uno de los padecimientos más frecuentes en la población mexicana, ya que ocupan el tercer lugar de morbilidad general y la segunda causa de enfermedad en mujeres (SUIVE, 2016 b).

De forma global, la población de estudio se caracterizó por un predominio de mujeres adultas (edad media 23.63 años). Sin embargo, hay que recordar que la edad es muy importante para catalogar embarazos de alto riesgo, al respecto Arroyave et al. (2011) realizaron un estudio en mujeres cuya edad mínima fue de 13 años y máxima de 43, donde ambas edades son consideradas

como extremas para llevar a cabo una gestación sin complicación.

Se observó un porcentaje importante (29%) de adolescentes, cifra elevada comparada con un estudio realizado en Perú por Huanco, Ticona, Ticona y Huanco (2012) en el que la frecuencia de embarazo en adolescentes fue de 19.2%, dentro del promedio latinoamericano. La OMS (23 de febrero de 2018) reporta una incidencia global de 11% de embarazos en adolescentes entre 15 y 19 años, aunque este porcentaje oscila entre 4.9 y 29.9%, dependiendo de cada país.

El nivel de escolaridad de las participantes marca un dato importante, ya que el mayor porcentaje contó con secundaria y un mínimo (5%) con licenciatura. Los resultados mencionados coinciden con un estudio similar realizado por Marín Carrillo (2015) en Perú, en donde el porcentaje de mujeres con nivel de estudios bajo fue mayor al del presente (68%). Tales brechas en las incidencias entre países pueden ser el resultado de las características contextuales como acceso a servicios, condiciones socioeconómicas y bajo nivel educativo (Domínguez-Anaya & Herazo-Beltrán, 2011).

En cuanto a las características de salud, la edad promedio de la menarca fue de 12.5 años, con una mínima de 9 y una máxima de 16 años, lo que concuerda con un estudio realizado por Restrepo-Mesa, Zapata López, Parra Sosa, Escudero Vásquez y Atalah (2014), en Colombia, en donde la edad promedio fue de 12.4 años. La edad a la cual iniciaron vida sexual activa en mayor porcentaje fue a los 16 años, dato importante ya que en ningún otro estudio se menciona.

En relación con la prevalencia de IVU, Arroyave et al. (2011) reportaron que en Colombia 36.1% de las mujeres embarazadas presentaron IVU, dato menor a lo observado en nuestro estudio; caso muy similar es lo hallado en el trabajo desarrollado por Campo-Urbina, Ortega-Ariza, Parody-Muñoz y Gómez-Rodríguez (2017) en el mismo país, donde la prevalencia fue menor (10.6%). Esta diferencia en las prevalencias de IVU puede ser debida al nivel educativo de las mujeres participantes en los estudios o a la calidad del sistema de salud en prevención de cada país.

Tabla 3
Asociación entre el diagnóstico de IVU y factores de riesgo y complicaciones en el embarazo

	Diagnóstico de IVU		Valor p
	SÍ (n= 108)	NO (n= 26)	
	Media ± DE n (%)		
Datos Sociodemográficos			
Escolaridad			
No menciona	2 (2)	3 (12)	0.228 ^b
Primaria	13 (12)	2 (8)	
Secundaria	51 (47)	10 (38)	
Bachillerato	36 (33)	10 (38)	
Licenciatura	6 (6)	1 (4)	
Antecedentes ginecoobstétricos			
Inicio de la menarca	12.53 ± 1.42	12.55 ± 1.76	0.966 ^c
Inicio de la vida sexual activa	17.43 ± 2.82	17.05 ± 2.14	0.522 ^a
Número de gestaciones	1.96 ± 1.35	2.19 ± 1.65	0.851 ^a
Producto final del embarazo			
Sin resolución	13 (12)	7 (27)	0.058 ^b
Parto	53 (49)	11 (42)	
Cesárea	42 (39)	7 (27)	
Aborto	0 (0)	1 (4)	
Complicaciones durante el embarazo			
Ninguna	75 (69)	21 (81)	0.619 ^b
Amenaza de aborto	7 (7)	0 (0)	
Parto prematuro	2 (2)	0 (0)	
Otras	24 (22)	5 (19)	
Síntomas			
Asintomática	50 (46)	24 (92)	0.000 ^b
Típico	53 (49)	1 (4)	
Náuseas	2 (2)	1 (4)	
Sangrado leve	2 (2)	0 (0)	
Actividad uterina leve	1 (1)	0 (0)	
Características de las IVU			
Cantidad de bacterias			
Ausentes	16 (15)	20 (77)	0.000 ^b
Escasas	38 (35)	5 (19)	
Moderadas	34 (31)	1 (4)	
Abundantes	20 (19)	0 (0)	
Tratamiento			
Sin Tratamiento	13 (12)	25 (96)	0.000 ^b
Penicilinas	31 (29)	0 (0)	
Cefalosporinas	5 (4)	0 (0)	
Betalactámicos	1 (1)	0 (0)	
Nitrofuranos	58 (54)	1 (4)	

Nota: sin resolución= la mujer aún se encontraba embarazada. IVU= infecciones de las vías urinarias. DE= desviación estándar. n= frecuencia. %= proporción. a= U de Mann Whitney. b= prueba de Fisher. c= prueba T de Student. Elaboración propia.

Igual que en el presente trabajo, Arroyave et al. (2011) encontraron que las IVU se presentaron prioritariamente (45.9%) en el primer trimestre del embarazo. Sin embargo, otro estudio realizado en

Venezuela reporta lo contrario, ya que la mayor parte de las IVU se presentaron en el tercer trimestre del embarazo (63%) (Lander, Vanegas, & Esáa, 2005).

La IVU es la infección más común durante el embarazo. Esta puede causar cierta morbilidad y mortalidad tanto materna como fetal. Poco más de una cuarta parte de las mujeres participantes en el presente trabajo fueron diagnosticadas con algún tipo de complicación en el embarazo y, aunque no contamos con el dato de si la IVU fue el diagnóstico principal de la consulta, 44.5% de las que presentaron el padecimiento acudió por tener sintomatología de la infección.

Por tanto, debe detectarse la presencia de IVU a tiempo y darle un correcto tratamiento, en cuanto a otras complicaciones, casi la mitad de la población estudiada presentaron retardo en el crecimiento IU, hemorragia obstétrica, utilización de fórceps, sufrimiento fetal, ruptura prematura de membranas, BRF Meconio fase latente; sin embargo, llama la atención que una participante embarazada no adolescente cursó con aborto. Lo anterior coincide con Arroyave et al. (2011), donde en 95.1% no se destacaron complicaciones asociadas.

El motivo de consulta por el que acuden las mujeres embarazadas es prácticamente por sintomatología, similar con lo expuesto por Morocho Suarez y Ordoñez (2011), donde el mayor motivo de consulta fue disuria (45%), dolor localizado a nivel lumbar (29%) y escalofríos (15%), tomando en cuenta que estos son los síntomas principales de IVU.

Con respecto al tratamiento farmacológico empleado por Arroyave et al. (2011), se encontró que las pacientes con IVU recibieron tratamiento con penicilina sintética en 88.2%, cefalosporinas en 2.7%, antiséptico urinario en 0.6% y macrólido, metronidazol, trimetoprim/sulfametoxazol en 0.2%. En nuestro estudio las pacientes se manejaron en mayor porcentaje con penicilinas y nitrofuranos, según el grupo de edad (adolescentes y adultas).

CONCLUSIONES

La prevalencia de IVU en el embarazo encontrada en el presente estudio fue alta, sin diferencia significativa entre los grupos de edad.

Tampoco se encontró asociación significativa entre la presencia de IVU durante el embarazo y el desarrollo de complicaciones en ninguno de los grupos de edad; sin embargo, si prevaleció la amenaza de aborto entre gestantes con diagnóstico de la infección.

Agradecimientos

Agradecemos a la Dra. Carmen Patricia Castañeda Torres, directora del centro de salud, y al Dr. Ernesto A. Torres Bautista, responsable de la Jurisdicción Sanitaria, por la orientación y el apoyo brindado al equipo de investigación.

REFERENCIAS

- Acosta-Terriquer, J. E., Ramos-Martínez, M. A., Zamora-Aguilar, L. M., & Murillo-Llanes, J. (2014). Prevalencia de infección de vías urinarias en pacientes hospitalizadas con amenaza de parto pretérmino. *Ginecología y Obstetricia de México*, 82(11), 737-743.
- Arroyave, V., Cardona, A. F., Castaño Castrillón, J. J., Giraldo, V., Jaramillo, M., Moncada N.C.,...Villegas Arenas, O. A. (2011). Caracterización de la infección de las vías urinarias en mujeres embarazadas atendidas en una entidad de primer nivel de atención (Caracterización de la infección de las vías urinarias en mujeres Manizales, Colombia), 2006-2010. *Archivos de Medicina (Col)*, 11(1), 39-50.
- Autún Rosado, D. P., Sanabria Padrón, E. H., Cortés Figueroa, E. H., Rangel Villaseñor, O., & Hernández-Valencia, M. (2015). Etiología y frecuencia de bacteriuria asintomática en mujeres embarazadas. *Perinatología y Reproducción Humana*, 29(4), 148-151.
- Campo-Urbina, M. L., Ortega-Ariza, N., Parody-Muñoz, A., & Gómez-Rodríguez, L. C. (2017). Caracterización y perfil de susceptibilidad de uropatógenos asociados a la presencia de bacteriuria asintomática en gestantes del departamento del atlántico, Colombia, 2014-2015. Estudio de corte transversal. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología*, 68(1), 62-70.
- Domínguez-Anaya, R., & Herazo-Beltrán, Y. (2011). Edad de la gestante adolescente como factor de riesgo para complicaciones en el embarazo. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología*, 62(2), 141-147.
- García-Salgado, A., Sánchez-Chávez, S., & González-Aldeco, P. M. (2017). Embarazo adolescente: Resultados obstétricos. *Revista del Hospital Juárez de México*, 84(1), 8-14.
- Hernández Blas, F., López Carmona, J. M., Rodríguez Moctezuma, J. R., Peralta Pedrero, M. L., Rodríguez Gutiérrez, R. S., & Ortiz Aguirre, A. R. (2007). Frecuencia de bacteriuria en embarazadas y sensibilidad antimicrobiana in vitro de los uropatógenos. *Ginecología y Obstetricia de México*, 75, 325-331.

- Huanco A., D., Ticona R., M., Ticona V., M., & Huanco A., F. (2012). Frecuencia y repercusiones maternas y perinatales del embarazo en adolescentes atendidas en hospitales del Ministerio de Salud del Perú, año 2008. *Revista hileña de Obstetricia y Ginecología*, 77(2), 122-128.
- Lander, G., Vanegas, C., & Esúa, H. (2005). Sensibilidad terapéutica de los agentes etiológicos más frecuentes en infecciones urinarias durante el embarazo. Hospital Materno Infantil del Este, Caracas Venezuela. *Informe Médico*, 7(8), 347-405.
- Marín Carrillo, S. P. (2015). *Infecciones urinarias en gestantes adolescentes y complicaciones en el embarazo y el recién nacido, Hospital San José del Callao 2013* (Tesis de licenciatura inédita). Recuperada de http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/2410/3/marin_s.pdf
- Morocho Suarez, D. P., & Ordoñez, M. (2011). *Frecuencia de infección de vías urinarias en el primer trimestre de embarazo en las mujeres que asisten a consulta externa al Centro de Salud No. 3 de la ciudad de Loja durante marzo 2010-abril 2011* (Tesis de licenciatura). Recuperada de <http://dspace.unl.edu.ec/bitstream/123456789/4206/1/MOROCHO%20SUAREZ%20DOLORES%20PATRICIA%20.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (23 de febrero de 2018). *El embarazo en la adolescencia* [sitio de internet]. Recuperado el 22 de junio de 2016, de <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/adolescent-pregnancy>
- Quiroga-Feuchter, G., Robles-Torres, R. E., Ruelas-Morán, A., & Gómez-Alcalá, A. V. (2007). Bacteriuria asintomática en mujeres embarazadas. Una amenaza subestimada. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 45(2), 169-172.
- Restrepo-Mesa, S. L., Zapata López, N., Parra Sosa, B. E., Escudero Vásquez, L. E., & Atalah, E. (2014). Embarazo adolescente: Características maternas y su asociación con el peso al nacer del neonato. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 64(2), 99-107.
- Secretaría de Salud. (2013). Generalidades de las siete principales causas de morbilidad en México 2005-2012 (segunda y última parte). *Boletín Epidemiológico*, 30(43), 1-28. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/12855/sem43.pdf>
- _____ (2016 a). NOM-007-SSA2-2016. Norma Oficial Mexicana para la atención de la mujer durante el embarazo, parto y puerperio, y de la persona recién nacida. *Diario Oficial de la Federación*, 7 de abril de 2016. Recuperada de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5432289&fecha=07/04/2016
- _____ (2016 b). *Prevención, diagnóstico y tratamiento de la infección de tracto urinario bajo durante el embarazo, en el primer nivel de atención*. México: Secretaría de Salud. Recuperado de <http://www.cenetec-difusion.com/CMGPC/IMSS-078-08/ER.pdf>
- Sheffield, J. S., & Cunningham, F. G. (2005). Urinary tract infection in women. *Obstetrics and Gynecology*, 106(5 Pt 1), 1085-1092.
- Sistema Único de Vigilancia Epidemiológica. (2016 a). *Distribución de casos nuevos de enfermedad por grupos de edad. Estados Unidos Mexicanos 2016. Población Femenina* [Tabla en pdf]. Recuperada de http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/20160/morbilidad/nacional/distribucion_casos_nuevos_enfermedad_grupo_edad.pdf
- _____ (2016 b). *Distribución de casos nuevos de enfermedad por grupos de edad. Estados Unidos Mexicanos 2016. Población General* [Tabla en pdf]. Recuperada de http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/2016/morbilidad/nacional/distribucion_casos_nuevos_enfermedad_grupo_edad.pdf
- Szweda, H., & Józwick, M. (2016). Urinary tract infections during pregnancy - an updated overview. *Developmental Period Medicine*, 20(4), 263-272.

Expresión de CD43, piruvato cinasa II y hexocinasa II en carcinoma epidermoide cervicouterino

Expression of CD43, pyruvate kinase II and hexokinase II in cervical epidermoid carcinoma

Luz Eugenia Alcántara-Quintana*✉, Verónica Gallegos-García*, Yolanda Terán-Figueroa*

Alcántara-Quintana, L. E., Gallegos-García, V., & Terán-Figueroa, Y. (2019). Expresión de CD43, piruvato cinasa II y hexocinasa II en carcinoma epidermoide cervicouterino. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 56-62.

RESUMEN

El cáncer cervicouterino (CaCu) es la segunda causa de muerte en México. La infección por el virus del papiloma humano es una condición necesaria durante el proceso de carcinogénesis. Una de las características del CaCu es que presenta un metabolismo alterado, las células tienden a captar más eficientemente la glucosa y aumentar la glucólisis. La glucosilación aberrante es un sello distintivo de algunos tipos de cáncer, que refleja cambios, como la expresión alterada de glucosiltransferasas y glucosidasas. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue describir el patrón de expresión de las proteínas CD43, piruvato cinasa II, y hexocinasa II en tejido cervical sano, tejido con cáncer cervicouterino y en líneas celulares de CaCu. Hasta el momento se encontró una mayor expresión de las proteínas al compararse con los tejidos sanos. Sin embargo, aun faltarían estudios para demostrar si pueden utilizarse como factor pronóstico para las pacientes con CaCu epidermoide.

Palabras clave: cáncer cervical; metabolismo; expresión de proteínas; CD43; piruvato cinasa II; hexocinasa II.

Keywords: cancer cervical; metabolism; protein expression; CD43; pyruvate kinase II; hexokinase II.

Recibido: 30 de marzo de 2018, aceptado: 8 de febrero de 2019

* Facultad de Enfermería y Nutrición, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Av. Niño Artillero #130, Zona Universitaria, C. P. 78240, San Luis Potosí, México. Correo electrónico: luz.alcantara@uaslp.mx; vgguaslp2@hotmail.com; yolandat@uaslp.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2961-9838>; <http://orcid.org/0000-0002-6218-4760>; <http://orcid.org/0000-0002-6118-6393>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

Cervical Cancer (CC) is the second cause of death in Mexico. Infection with the Human Papilloma Virus is a necessary condition during the carcinogenesis process. One of the characteristics of CC is that it presents an altered metabolism; cells tend to more efficiently capture glucose and increase glycolysis. Aberrant glycosylation is a hallmark of cancer, which reflects changes, such as the altered expression of glycosyltransferases and glucosidases. Therefore, the objective of the present work was to describe the expression pattern of CD43, pyruvate kinase II, and hexokinase II in healthy cervical tissue, tissue with CC and in CC cell lines. At this point, we find a higher expression of proteins when compared with healthy tissues. However, there would still be a lack of studies to show if they could be used as a prognostic factor for patients with epidermoid CaCu.

INTRODUCCIÓN

Según GLOBOCAN (Bray et al., 2018), el cáncer cervicouterino (CaCu) se encuentra en segundo lugar de incidencia a nivel mundial con 528,000 casos nuevos en 2018; cerca de 85% de los mismos se dan en los países menos desarrollados. La tasa de mortalidad e incidencia de cáncer en América Latina y el Caribe es 0.59 veces mayor que en la Unión Europea (0.43) y que en Estados Unidos (0.35), según Vargas-Hernández (2018). La infección por el virus del papiloma humano (VPH) es una condición necesaria durante el proceso de carcinogénesis (Bruni et al., 2018).

El VPH es miembro de la familia *Papillomaviridae*, de la cual actualmente se han caracteriza-

do más de 200 de tipo humano, donde el género *Alphapapillomavirus* se asocia a la infección de la mucosa del tracto genital y se divide en dos grupos: los de bajo riesgo, asociados con verrugas genitales benignas, y los de alto riesgo que presentan alto potencial oncogénico (Bernard et al., 2010; Butel, 2011; Santos López, Márquez Domínguez, Reyes Leyva, & Vallejo-Ruiz, 2015).

Durante el proceso de infección persistente, por parte de VPH de alto riesgo en el epitelio cervical se produce inestabilidad genómica, expresión continua de los oncogenes E6 y E7 que desregulan el control del ciclo celular y la apoptosis, lo que favorece la proliferación celular descontrolada, la inmortalización de células y finalmente la progresión tumoral (Serman, 2002).

Una de las características más importantes de muchos cánceres es que presentan metabolismo alterado, tienden a captar más eficientemente la glucosa, aumenta la glucólisis y esta última está desacoplada del ciclo de Krebs, así como de la fosforilación oxidativa en la mitocondria. La regulación del metabolismo energético es compleja, existen proteínas reguladoras como HIF (una proteína prometastásica), que disminuye el metabolismo oxidativo, mientras que p53 (gen supresor tumoral) promueve la fosforilación oxidativa. Estos datos indican que una de las posibles funciones primarias de los oncogenes activados y de los genes supresores de tumores inactivados es la reprogramación del metabolismo celular (Valle-Mendiola & Soto Cruz, 2014).

La glucosilación es una modificación postraducciona de las proteínas que desempeñan un papel fundamental en la señalización celular, el reconocimiento inmunitario y la interacción célula-célula debido a sus ramificaciones de glucanos que confieren variabilidad estructural y especificidad de unión a los ligandos de lectina. La expresión aberrante de las estructuras de glucanos, así como la aparición de estructuras truncadas, precursores o nuevas estructuras de glucanos, pueden afectar las interacciones ligando-receptor e interferir con la regulación de la adhesión celular, la migración y la proliferación. De hecho, la glucosilación aberrante representa un sello distintivo del cáncer, que refleja cambios específicos del cáncer en las rutas de biosíntesis de glucanos, como la expresión alterada de glucosiltransferasas (hexocinasa II) y glucosidasas.

La mayoría de los estudios se han llevado a cabo para identificar cambios en las estructuras de glucanos en suero (Tuccillo et al., 2014). En la mayoría de los tipos de cáncer la fucosilación y la sialilación se modifican significativamente. Por tanto, las aberraciones en las estructuras de glucanos se pueden usar como dianas para mejorar los biomarcadores de cáncer existentes. La capacidad de distinguir las diferencias en la glucosilación de las proteínas entre los pacientes de cáncer y control enfatiza la glicobiología como un campo prometedor para la identificación potencial de biomarcadores. En el caso de la O-GalNAC consiste en la adición de cadenas de sacáridos a ciertos residuos de serina o treonina de las proteínas. Es una modificación postraducciona bastante común y de gran importancia en la funcionalidad de algunas proteínas como las mucinas.

En el caso de CD43, es una molécula también llamada leucosialina, sialoforina, galactoglucoproteína, sialoglucoproteína leucocitaria, y también se le conoce como una proteína transmembranal I de tipo mucina. La proteína CD43 humana está codificada por un solo gen en el cromosoma 16 (mapa genético locus 16p11.2) y comprende el péptido señal de 19 aminoácidos en el término amino, seguido de una región extracelular altamente glucosilada de 235 aminoácidos, la región transmembranal de 23 aminoácidos, y la región carboxi terminal intracelular de 123 aminoácidos. El dominio extracelular tipo mucina tiene una estructura alargada en forma de varilla que sobresale 45 nm de la superficie celular y es rico en serina y treonina, lo que permite una extensa O-glucosilación.

Sólo una potencial N-glucosilación está ubicada en el sitio cerca del dominio transmembranal en la posición N239. La región intracelular contiene un número de sitios potenciales de fosforilación que pueden mediar la activación de las señales de transducción. Un número creciente de informes indican que hay una asociación entre CD43 y el cáncer. Una razón para la implicación de CD43 en el desarrollo del cáncer es que su señalización induce la activación de β -catenina, NF- κ B, NFAT, y AP-1, que son factores de transcripción pro-sobrevivencia que pueden promover la tumorigénesis cuando están desregulados (Fiume et al., 2013).

Existen estudios sobre la expresión de CD43 en tumor de origen no hematopoyético, tal es el caso de la línea celular de carcinoma de colon (COLO

205), que sustentan su papel en cáncer (Baekström, 1997). También para cáncer de colon se ha propuesto la alteración de los procesos reguladores intracelulares implicados en la actividad de la piruvato cinasa (PK II), que tiene que ver con el mantenimiento del estado de proliferación. Asimismo, se han encontrado bajos los niveles de proteína hexocinasa II (HK-II), glucosa 6-fosfato isomerasa (GPI) y lactato deshidrogenasa (LDH) en cáncer de colon (Chen-Sung et al., 2018), por lo que estas tres moléculas tienen un papel importante en cáncer, que aún no está bien comprendido.

En este artículo se estudiaron la proteína CD43 (una mucina), la piruvato cinasa (PK II) y la proteína hexocinasa II (HK-II), estas últimas proteínas del metabolismo celular, para conocer si existe un posible patrón asociado o distintivo de expresión para cáncer cervicouterino, mismas moléculas de las cuales se ha encontrado su participación en otros tipos de cáncer, como el de colon.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 36 biopsias en parafina de pacientes con diagnóstico de carcinoma epidermoide invasor en estadio clínico T1B1/FIGO1B1 sin tratamiento oncológico previo ni otra patología asociada y 25 muestras de tejido cervical sano (sin procesos inflamatorios e infecciosos de ningún tipo y sin inmunosupresión). Las muestras fueron obtenidas del Servicio de Patología del CMN La Raza, IMSS. Los bloques fueron cortados siguiendo los procedimientos de rutina a 5 µm de espesor.

Cultivos celulares

Se realizaron cultivos celulares de células HeLa (VPH 18), Caski (VPH 16), SiHa (VPH 16) y HaCaT (VPH negativo). Estas se mantuvieron en RPMI (Gibco), suplementado con 10% de suero fetal bovino (Gibco), penicilina 100 U/ml, estreptomycin 100 µg/ml (Gibco) a 37 °C y una atmósfera de 5% de CO₂.

Inmunofluorescencia para tejidos sanos y con cáncer

A continuación, se describe brevemente la técnica. Los cortes de tejido fueron desparafinados y rehidratados, posteriormente las preparaciones se lavaron con TBS 1X, pH 7.4, y fueron bloqueadas con albúmina sérica bovina a 2% (BSA) en cámara húmeda a temperatura ambiente. Se lavaron con TBS 1X y se permeabilizaron con TBS-Tritón X-100 al 0.2%, posteriormente se lavaron con TBS 1X y se incubaron

con bloqueador de avidina-biotina por 10 min. Después de lo anterior, se lavaron con TBS 1X para posteriormente incubarse con el anticuerpo primario a la dilución recomendada por el fabricante (anti-CD43, Santa Cruz-21774; anti-PK M2 Sigma-Aldrich; anti-HKII, Abcam 227198) a 4 °C en cámara húmeda toda la noche.

Al día siguiente se lavaron con TBS 1X y se incubaron con el anticuerpo secundario acoplado a FITC, Alexa Fluor 488 o Alexa Fluor 594, dependiendo del anticuerpo, a la dilución recomendada por el fabricante por 1 a 2 h a temperatura ambiente y en oscuridad, las preparaciones fueron lavadas con TBS 1X y en su caso fueron incubadas con Alexa Fluor 594 durante 60 min, terminado el tiempo de incubación se lavaron con TBS 1X. Finalmente, se realizó el montaje con DAPI-VectaShield. Las preparaciones se mantuvieron a 4 °C y en oscuridad hasta que fueron observadas en un microscopio de fluorescencia Leica DM2000.

Las imágenes fueron analizadas en el software Leica Application Suite Advanced Fluorescence 3.1.0 e Image Pro Plus. Brevemente, se seleccionaron cinco secciones al azar de la laminilla, se cuantificó la intensidad de la sección por hscore, en este caso las intensidades se clasificaron como cero (sin tinción), +1 (tinción débil), +2 (tinción evidente) y +3 (tinción muy fuerte). El área de los píxeles fue de 1024 x 1024, finalmente se determinaron las unidades de fluorescencia por cada área cuantificable.

Inmunofluorescencia en líneas celulares

Las líneas celulares se recuperaron de las cajas de cultivo y se sembraron en laminillas de cultivo con medio suplementado y en condiciones de esterilidad. Después de 24 h de incubación se retiró el medio de cultivo, se lavaron dos veces con PBS 1X pH 7.4 y se fijaron con paraformaldehído a 4% (PFA 4%) por 20 min a 4 °C en oscuridad; finalizado el tiempo de incubación el sobrenadante fue decantado y se lavó con TBS 1X, pH 7.4. Posteriormente las laminillas fueron procesadas como se describió en la técnica de inmunofluorescencia utilizando los anticuerpos mencionados.

RESULTADOS

Los tejidos con cáncer cervicouterino expresan niveles elevados de CD43, PK II, HKII en comparación con el tejido cervical sano

En el tejido sano se observaron definidos los estratos

basal, intermedio y superficial del epitelio mediante microscopía de luz, sin alteraciones en la maduración normal del epitelio (Hematoxilina Eosina). Al analizar las laminillas para determinar la presencia de CD43, se encontró presente en membrana y en citoplasma de las células del estrato basal; en los estratos intermedio y superficial se localizó preferentemente en la membrana citoplasmática. Se observó tinción positiva para PK II en citoplasma de las células del estrato basal. Las células del estrato medio y superficial mostraron positividad también en el citoplasma. HKII se observó con positividad en citoplasma de las células del estrato basal, del estrato medio y superficial.

Mediante microscopía de luz se observó en los tejidos con carcinoma epidermoide pérdida de la maduración normal de todos los estratos de la mucosa cervical con invasión al estroma (Hematoxilina Eosina). En las células tumorales se encontraron niveles elevados de CD43 con localización citoplasmática. En las células neoplásicas la expresión de PK II y de HKII fue preferentemente citoplasmática y con una mayor expresión (figuras 1 y 2).

Expresión y localización celular de CD43, PK, HKII en las líneas celulares derivadas de cáncer cervicouterino

En el análisis microscópico de todas las líneas celulares se observó la expresión de CD43, localizada

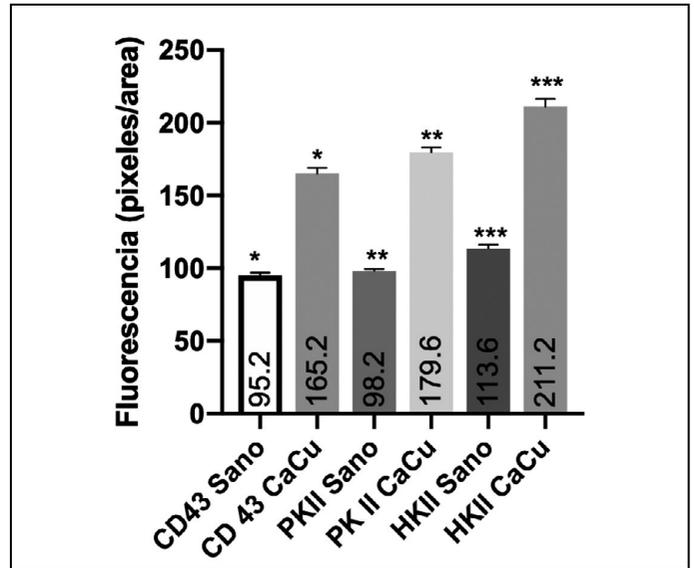


Figura 2. Aumento en la cantidad de proteínas CD43, PKII, HK II en cáncer epidermoide de cervix comparado con tejido cervical sano. Intensidad de fluorescencia después del marcaje. Software Image Pro Plus. *, **, *** $p \leq 0.01$, ANOVA de una vía, GraphPad, PRISM, V. 8. Elaboración propia.

preferentemente en citoplasma y en membrana plasmática de HeLa, Caski y SiHa, mientras que en las células HaCaT la localización fue en membrana y núcleo. Asimismo, se observó un incremento en la expresión de PK II y HK II en células de líneas celulares

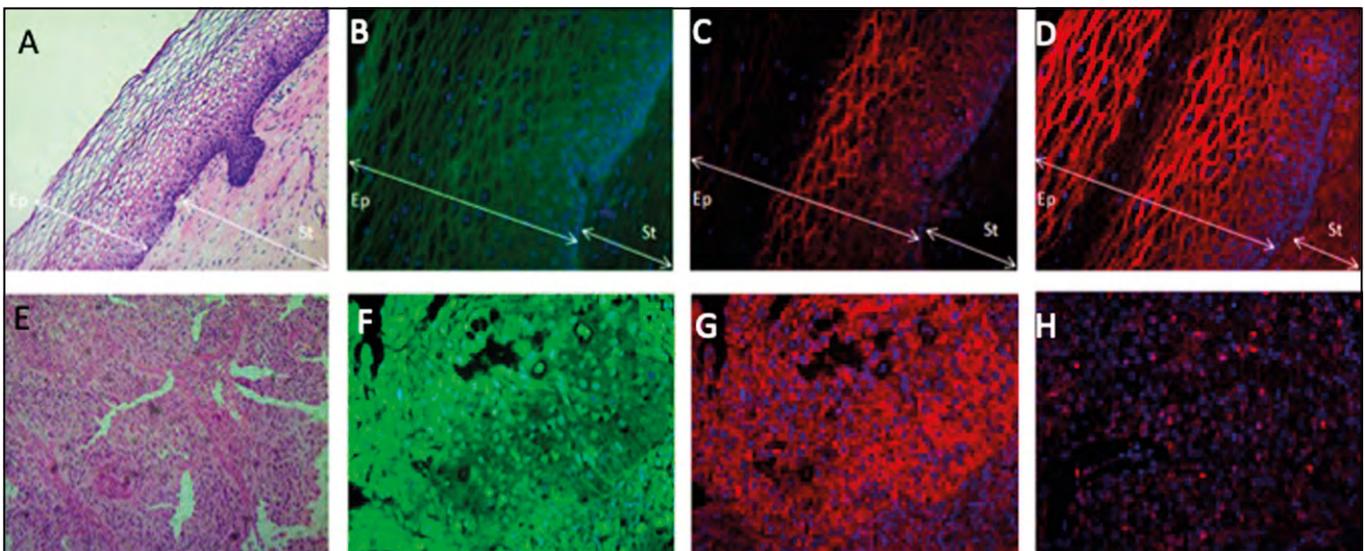


Figura 1. Sobreexpresión de CD43, PKII, HK II en cáncer epidermoide de cervix. A-D. Tejido cervical sano (10 X); A, Hematoxilina-Eosina; B, (CD43, verde); (C-D, PK II, HKII, rojo). E-H Tejido con CaCu (40X); E, Hematoxilina-Eosina; F (CD43, verde); (G-H, PK II, HKII, rojo), Núcleos (azul). Epitelio (Ep); Estroma (St). Elaboración propia.

de CaCu VPH positivas comparadas con las células VPH negativas (figura 3).

DISCUSIÓN

Existen estudios sobre la expresión de CD43 en carcinoma de colon que sustentan su papel en cáncer (Baeckström, 1997). También se ha propuesto la alteración de la piruvato cinasa II y de la hexocinasa II en cáncer. El Dr. Warburg (1956) propuso que las enzimas respiratorias están deterioradas o suprimidas en los tipos de cáncer humano y que la glucólisis se encuentra aumentada para compensar las "mitocondrias defectuosas o suprimidas", para producir una cantidad suficiente de ATP. Recientemente esto lo ha comprobado Senni et al. (2019) en carcinoma de estómago.

Está documentado que la actividad de la piruvato cinasa II y de la hexocinasa II está relacionada con el mantenimiento del estado de proliferación de las células (Chen-Sung et al., 2018). En el caso de CD43 se conoce que induce la activación de

β -catenina, NF- κ B, NFAT, y AP-1, que son factores de transcripción prosobrevivencia que pueden promover la tumorigénesis (Fiume et al., 2012).

Sin embargo, aunque está demostrado que la glucólisis y la glucosilación están alteradas en varios carcinomas, la presencia o ausencia de algunas moléculas no están estudiadas para cáncer cervicouterino. Su estudio hasta ahora se ha centrado en la identificación y descripción de la modificación de los residuos de glucosa. En el presente estudio se observó que las células tumorales en muestras con carcinoma epidermoide de cuello uterino presentan altos niveles de expresión de CD43, PKII, HKII, que difieren en cuanto a su ubicación celular e intensidad en relación con el tejido sano. Las diferencias encontradas sugieren una similitud con lo reportado por Zeng et al. (2016), quienes observaron niveles elevados de modificaciones postraduccionales (enzimas de glucosilación) en la neoplasia cervical, en relación con el cuello uterino sano, causado por la presencia del oncogen E6 del virus del papiloma humano.

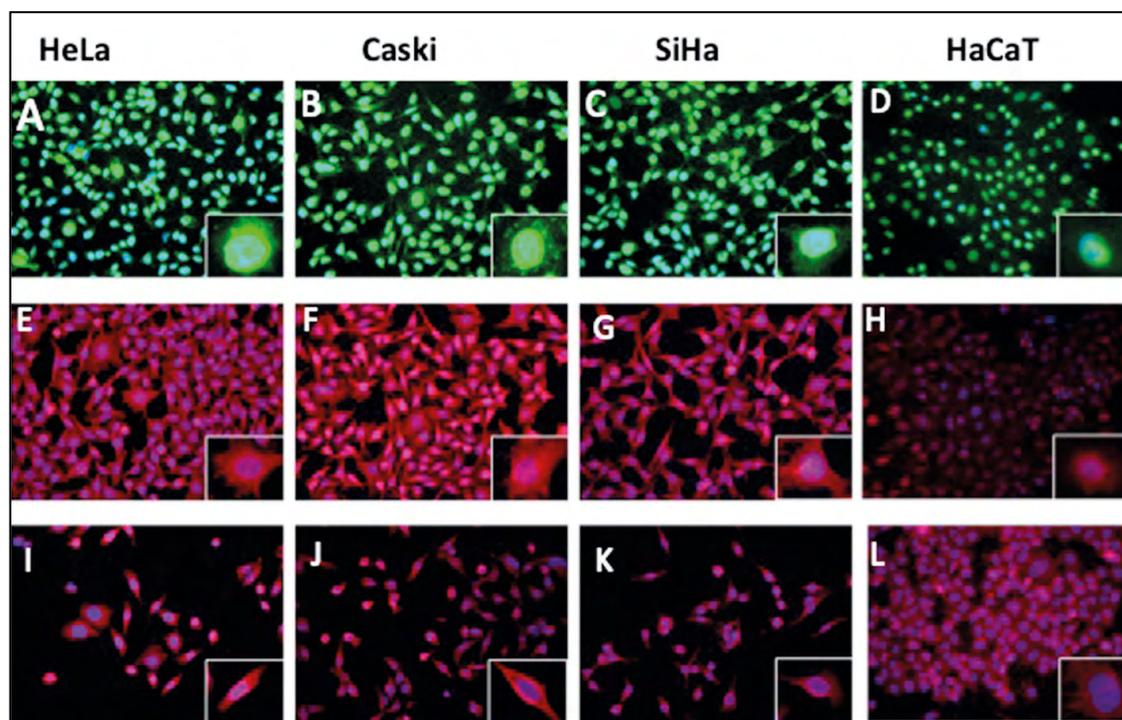


Figura 3. Expresión y localización de CD43, PKII, HKII en líneas celulares derivadas de cáncer cervicouterino y en células control. Imágenes observadas en microscopio de fluorescencia a 40x; A-D (anti CD43), E-H (anti PKII), I-L (anti-HKII).
Elaboración propia.

Los autores del presente documento consideran el aumento en la expresión de las tres proteínas y diferente localización en comparación con el tejido sano. En el caso de las líneas celulares derivadas de CaCu está presente la positividad de CD43 con localización celular en citoplasma y membrana plasmática, pero en tejidos sanos solamente se expresa en membrana plasmática. La expresión de PK y HK II está incrementada en las células VPH positivas (HeLa, Caski, SiHa) comparadas con las células VPH negativas (HaCaT), lo que sugiere que en tejido cervical canceroso las enzimas de la glucólisis están incrementadas. Sin embargo, harían falta estudios de funcionalidad mitocondrial para verificar dicha sugerencia.

Por otro lado, los autores del presente documento consideran que también la glucosilación podría encontrarse desregulada por la presencia de CD43 intracitoplasmática. Es sabido que esta proteína, también llamada sialoforina, tiene un dominio extracelular ampliamente glucosilado y su función no se ha determinado, aunque parece ser una molécula antiadhesiva que mediaría la repulsión entre leucocitos y otras células, que en ciertas circunstancias puede funcionar como una molécula de adhesión.

En el caso de los tejidos patológicos la tinción es positiva en el citoplasma, esto se ha observado en leucemia mieloide aguda, en cáncer de colon,

entre otros tipos de cáncer no hematológicos. Sin embargo, para cáncer cervicouterino no existen muchos trabajos que cuantifiquen la expresión de la proteína CD43. Batdorf (2014) realizó una evaluación de la expresión de CD43 en 12 muestras de pacientes con CaCu, donde muestra una tinción nuclear muy débil y lo atribuye a una expresión negativa. Sin embargo, los autores del presente trabajo encontraron la expresión de CD43 en todas las muestras con cáncer y la tinción fue citoplásmica, lo que indica que faltan más estudios para conocer lo que ocurre con CD43, en el caso de cáncer cervicouterino.

CONCLUSIONES

Se localizó una mayor expresión de proteínas que intervienen en la glucólisis (PKII y HK II) y en la glucosilación (CD43) en tejidos con CaCu, mediante la técnica de inmunofluorescencia, al compararse con los tejidos sanos. También se encontró mayor expresión en las líneas celulares de CaCu. Sin embargo, se considera que faltan estudios para demostrar si estas proteínas pudieran utilizarse como biomarcador o factor pronóstico para este tipo de cáncer.

Agradecimientos

Los autores del presente desean agradecer al servicio de Patología del Centro Médico Nacional de la Raza, IMSS, en particular a la Dra. Ángeles Hernández Cueto.

REFERENCIAS

- Bäckström, D. (1997). Post-translational fate of a mucin-like leukocyte sialoglycoprotein (CD43) aberrantly expressed in a colon carcinoma cell line. *The Journal of Biological Chemistry*, 272(17), 11503-11509.
- Batdorf, B., Kroft, S., Hosking, P., Harrington, A., Mackinnon, A., & Olteanu, H. (2014). Evaluation of CD43 expression in non-hematologic malignancies. *American Journal of Clinical Pathology*, 142(suppl-1), A244. doi: 10.1093/ajcp/142.suppl1.244
- Bernard, H. U., Burk, R. D., Chen, Z., Van Doorslaer, K., Zur Hausen, H., & De Villiers, E. M. (2010). Classification of papillomaviruses (PVs) based on 189 PV types and proposal of taxonomic amendments. *Virology*, 401(1), 70-79. doi: 10.1016/j.virol.2010.02.002
- Bray, F., Ferlay, J., Soerjomataram, I., Siegel, R., Torre, L., & Jemal, A. (2018). Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 68(6), 394-424.
- Bruni, L., Albero, G., Serrano, B., Mena, M., Gómez, D., Muñoz, J.,... de Sanjosé, S. (2018). *ICO/IARC Information Centre on HPV and cancer (HPV Information Centre). Human papillomavirus and related diseases in Jamaica*. Informe resumido. Barcelona: HPV Information Centre. Recuperado el 10 de diciembre de 2018, de www.hpvcentre.net
- Butel, J. S. (2011). Virus que causan cáncer en el ser humano. En G. F. Brooks, K. C. Carroll, J. S. Butel, S. A. Morse, & T. A. Mietzner (Eds.), *Medical Microbiology*. Jawetz, Melnick & Adelberg (26ª ed., pp. 213-219). Nueva York: McGraw-Hill.
- Chen-Sung, L., Li-Tzu, L., Liang-Hung, O., Siao-Cian, P., Chia-I, L., & Yau-Huei, W. (2018). Role of mitochondrial function in the invasiveness of human colon cancer cells. *Oncology Reports*, 39(1), 316-330.
- Fiume, G., Rossi, A., de Laurentiis, A., Falcone, C., Pisano, A., Vecchio, E.,... Quinto, I. (2013). Eukaryotic initiation Factor 4H is under transcriptional control of p65/NF-κB. *PLoS One*, 8(6), e66087. doi: 10.1371/journal.pone.0066087
- Fiume, G., Vecchio, E., De Laurentis, A., Trimboli, F., Palmieri, C., Pisano, A.,... Quinto, I. (2012). Human immunodeficiency virus-1 Tat activates NF-κB via physical interaction with IκB-α and p65. *Nucleic Acids Research*, 40(8), 3548-3562.
- Santos-López, G., Márquez-Domínguez, L., Reyes-Leyva, J., & Vallejo-Ruiza, V. (2015). Aspectos generales de la estructura, la clasificación y la replicación del virus del papiloma humano. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 53(Supl. 2), S166-S171.
- Senni, N., Savall, M., Cabrerizo-Granados, D., Alves-Guerra, M. C., Sartor, C., Lagoutte, I.,... Bossard, P. (2019). β-catenin-activated hepatocellular carcinomas are addicted to fatty acids. *Gut*, 68(2), 322-334.
- Serman, F. (2002). Cáncer cervicouterino: Epidemiología, historia natural y rol del virus del papiloma humano. Perspectivas en prevención y tratamiento. *Revista Chilena de Obstetricia y Ginecología*, 67(4), 318-323.
- Tuccillo, F. M., de Laurentiis, A., Palmieri, C., Fiume, G., Bonelli, P., Borrelli, A.,... Scala, G. (2014). Aberrant glycosylation as biomarker for cancer: Focus on CD43. *BioMed Research International*. doi: 10.1155/2014/742831
- Valle Mendiola, A., & Soto Cruz, I. (2014). Metabolismo energético y cáncer. *Vertientes. Revista Especializada en Ciencias de la Salud*, 17(2), 108-113.
- Vargas Hernández, V. M. (2018). Situation of the gynecological cancer in Latin America and the Caribbean. *Online Journal of Gynecology, Obstetrics and Maternity Care*, 1(1), 180002.
- Warburg, O. (1956). On the origin of cancer cells. *Science*, 123(3191), 309-314.
- Zeng, Q., Zhao, R. X., Chen, J., Li, Y., Li, X. C., Liu, X. L.,... Xu, Z. X. (2016). GlcNAcylation elevated by HPV E6 mediates viral oncogenesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(33), 9333-9338.

Determinantes de la capacidad de innovar en países de la OCDE

Determinants of the capacity to innovate of the OECD members

Antonio Favila-Tello*✉, Enrique Armas-Arévalos*

Favila-Tello, A., & Armas-Arévalos, E. (2019). Determinantes de la capacidad de innovar en países de la OCDE. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 63-72.

RESUMEN

La innovación es uno de los temas centrales que explican el desempeño económico de los países. Sin embargo, no todas las naciones han desarrollado las capacidades necesarias para generar innovaciones comerciables y aprovechar sus beneficios. Tomando como unidad de análisis a los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), el presente trabajo parte de la hipótesis que indica que la capacidad de innovación de estas naciones se encuentra determinada positivamente por sus instituciones, su infraestructura, su capital humano, su sofisticación de mercado y su sofisticación de negocios. El instrumento utilizado para medir estas relaciones fue un modelo lineal generalizado (GLM, por sus siglas en inglés). Los resultados sugieren que tres de los cinco determinantes seleccionados son estadísticamente significativos. El mayor poder explicativo del modelo se encontró en la sofisticación de negocios, seguida del capital humano y la sofisticación de mercado.

Palabras clave: capacidad nacional de innovación; modelo lineal generalizado; capital humano; modelo; OCDE.

Keywords: national innovative capacity; generalized linear model; human capital; model; OECD.

Recibido: 6 de julio de 2018, aceptado: 8 de febrero de 2019

* Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ciudad Universitaria, Av. Francisco J. Múgica s/n, Col. Felicitas del Río, C. P. 58030, Morelia, Michoacán, México. Correo electrónico: antonio.favila@hotmail.com; earmany_07@hotmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8652-147X>; <http://orcid.org/0000-0003-2072-2257>
✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

Innovation is one of the central issues that explain the economic performance of countries. However, not all nations have developed the capabilities needed to generate marketable innovations and take advantage of their benefits. This paper stands on the hypothesis that their institutions, their infrastructure, their human capital, their market sophistication and their business sophistication determine innovative capacity of OECD nations positively. The instrument used to measure these relationships was a Generalized Linear Model (GLM). Results suggest that three of five selected determinants are statistically significant. Findings reveal that business sophistication, followed by human capital and market sophistication has the greatest explanatory power of the model.

INTRODUCCIÓN

La generación de innovaciones es un asunto crucial para el desempeño de las economías en aspectos tales como la productividad nacional, la desigualdad social, el nivel medio de los salarios, la calidad de los empleos y el crecimiento económico (Denison, 1985; Powell & Snellman, 2004). Pese a la reconocida importancia del tema, la generación de innovaciones comerciables ha tendido en años recientes a concentrarse en un puñado de países. Muestra de ello es que en 2015, de acuerdo con cifras del Grupo Banco Mundial (2016), 90% de las solicitudes de patentes (según el indicador denominado "Solicitudes de Patentes, Residentes") se concentró en cuatro países: China 52%, EE. UU. 15%, Japón 14% y Corea 9%. Algo similar sucedió con el cobro de regalías por el uso de propiedad intelectual, el cual también muestra una definida concentración.

En 2016 del total de los pagos por este concepto realizados en el mundo, 37% fue recibido por EE. UU., 12% por Japón, 12% por Países Bajos y 6% por Suiza. Adicionalmente, Alemania, Reino Unido y Francia recibieron 5% cada uno, lo cual implica que 82% del valor total de las regalías se distribuyeron entre siete países (Grupo Banco Mundial, 2016). Lo anterior ha generado un amplio campo de estudio que pretende elucidar las causas que generan estas profundas diferencias y la manera en la que estas asimetrías impactan en la vida económica de las naciones. Si bien existen diferentes marcos de análisis para abordar esta situación, el presente trabajo adopta el modelo propuesto por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), la Universidad de Cornell y el Institut Européen d'Administration des Affaires (INSEAD) para comprobar la hipótesis que indica que la capacidad nacional de innovación de los países de la OCDE estuvo positivamente determinada con instituciones, infraestructura, capital humano y sofisticación, tanto de mercado como de negocios.

Actualmente, la OCDE se encuentra formada por 36 países, incluyendo a México desde 1994 (OCDE, 2018). Esta organización agrupa a países altamente industrializados y emergentes y colabora de manera cercana con otras naciones clave para la economía mundial, como China, India y Brasil (OCDE, 2018), por lo que constituye una unidad de análisis interesante y diversa. Otros trabajos que abordan la temática de la innovación y que han tomado a la OCDE como unidad de análisis pueden encontrarse en Andrews, Criscuolo y Gal (2015), Furman, Porter y Stern (2002), Hottenrott, Hall y Czarnitzki (2016) y Wurlod y Noailly (2018).

Revisión de literatura

La capacidad para crear conocimientos, innovar y generar nuevos productos, servicios, procesos y formas de organización ha sido ampliamente reconocida como uno de los ingredientes indispensables del crecimiento económico y el desarrollo (David & Foray, 2002). A pesar del sólido consenso existente sobre la importancia de la innovación en el desempeño de las economías, no existe aún un proceso de implementación universalizado que deba seguirse para su fomento.

Una primera clasificación de los factores que explican la innovación los ubica en dos grandes categorías: factores internos y externos. Los internos son los que pertenecen al ámbito micro, generalmente a características identificables en las empresas u or-

ganizaciones. Los externos se refieren a características macro del entorno que rodea a las organizaciones que obstaculizan o facilitan la generación de conocimiento y la innovación (Morales, Ortiz Riaga, & Arias Cante, 2012).

Entre los factores internos es posible mencionar a la cultura organizacional, la acumulación de activos tangibles e intangibles, la capacidad tecnológica de la organización (entendida como su capacidad para desarrollar nuevos productos y servicios y aplicar nuevas tecnologías a la producción) y las características de los empresarios. Por otro lado, los externos se refieren al conjunto de interrelaciones entre instituciones del área científico-tecnológica y las firmas, los marcos regulatorios y sistemas de incentivos y apoyos a la actividad innovadora (Guan, Yam, Mok, & Ma, 2006; Moori-Koenig & Yoguel, 1998; Morales et al., 2012).

Uno de los trabajos pioneros en probar matemáticamente la influencia de los determinantes de la capacidad nacional de innovación es el escrito por Griliches (1979). El autor plantea una función de producción en la cual el flujo de nuevas ideas depende del esfuerzo innovador (representado por los recursos invertidos en las actividades de Investigación y Desarrollo (I+D)) y del conocimiento acumulado (entendido como la disponibilidad de resultados de investigaciones anteriores) disponibles en una determinada región (Griliches, 1979; Heijs, Martínez, Baumert, & Buesa Blanco, 2002).

Trabajos posteriores buscaron agregar una mayor complejidad a esta función e identificar las causas de las diferencias regionales en materia de generación de innovaciones, así como profundizar en la teorización del tema. Un ejemplo es el propuesto por el modelo lineal del cambio tecnológico, el cual consideraba que la innovación era resultado de las actividades en las instituciones de investigación y las empresas innovadoras, las cuales transferían el conocimiento a través del mecanismo del mercado; este modelo considera que la innovación se encuentra desvinculada de la influencia institucional, de las actitudes competitivas, del nivel educativo regional o de la demanda local. En este modelo la innovación sigue una secuencia lineal que puede obedecer a dos situaciones: la primera implica que el mercado demanda bienes con mayor contenido tecnológico, por lo que las empresas innovan para corresponder a estas expectativas; la otra situación implica que desde las empresas surgen innovaciones derivadas

de las actividades de I+D, que se ofrecen a los clientes potenciales sin que estos los hayan demandado previamente (Heijs et al., 2002).

La contraposición al modelo anterior se desarrolló a través del llamado *modelo interactivo*, el cual indica que la innovación es el resultado de un proceso dinámico basado en la capacidad tecnológica de las empresas y en la interacción continua de múltiples actores que pueden encontrarse dentro o fuera de ella (como clientes y distribuidores). En este modelo se reconoce una fuerte influencia del entorno, de la acumulación de experiencias en la firma, de que la empresa plantee a la innovación como un objetivo estratégico para su desarrollo (esfuerzo innovador), de las políticas públicas y de la competencia; además no se establece una vía única en la cual la innovación pueda generarse y comercializarse, como sucedía en el modelo lineal (Heijs et al., 2002).

En adelante, el modelo interactivo recibió una amplia atención de los académicos que plantearon extensiones al mismo por las implicaciones que podría tener, tanto para la toma de decisiones como para el diseño de políticas públicas. Partiendo del modelo interactivo surgió la denominada teoría de los sistemas nacionales y regionales de innovación, la cual brinda una importancia central a la interacción entre las instituciones, el sector privado y el público, en la tarea de generar, transferir y comercializar las nuevas tecnologías; con ello el modelo propone que la capacidad de innovación de los países no se debe solamente a su inversión de recursos financieros y humanos en actividades de I+D, sino a la suma de los esfuerzos de todos los agentes involucrados, su retroalimentación y sinergias, dentro de un sistema heterogéneo y dinámico (Freeman, 1987; Heijs et al., 2002). A esta tradición teórica pertenecen modelos como el de la triple hélice (integrada por las interacciones entre universidades, industria y gobierno) (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000) o el de la cuarta hélice (el cual agrega al modelo a los ciudadanos como promotores de las actividades de innovación a través de la sofisticación de su demanda de bienes y servicios y la participación en las actividades de I+D) (Leydesdorff & Etzkowitz, 2003).

Otros trabajos centraron su análisis en la importancia de las externalidades y la proximidad geográfica como determinantes de la capacidad de innovación. La importancia de la proximidad geográfica radica en que dinamiza la interacción de las firmas

que compitiendo por el mercado, se ven forzadas a especializarse, aprender colectivamente, disminuir costos e incrementar calidad. Estas ideas sentaron las bases del análisis de los clústeres como elementos fundamentales de la competitividad y capacidad nacional de innovación.

Una parte importante del enfoque de clústeres está basado en el trabajo de Porter (1990) y en desarrollos posteriores de estas ideas, como lo muestra el trabajo de Furman et al. (2002). En estas obras los autores introducen el concepto de la capacidad nacional de innovación como la habilidad de un país para producir y comercializar un flujo constante de tecnología innovadora durante un periodo prolongado de tiempo. Introducen la idea de que esta capacidad es resultado del desempeño nacional en cuatro grandes pilares: El primero se refiere a que en el país se encuentren disponibles los insumos necesarios para que se desarrollen tanto el conocimiento como la innovación de calidad. Estos insumos incluyen tanto a la infraestructura física como a los recursos humanos especializados dedicados a la investigación, tanto en la industria como en las universidades; el segundo se refiere al contexto competitivo local, es decir, a la forma en la que la rivalidad entre las firmas, la existencia de incentivos, la protección a la propiedad intelectual, la implementación de normas internacionales de calidad y la apertura a la competencia internacional promueven el surgimiento de innovaciones; el tercero hace referencia a las características de la demanda doméstica; es decir, a la manera en que la exigencia de los consumidores por productos y servicios sofisticados presiona a las firmas para generar innovaciones. Por último, el cuarto pilar se refiere a la existencia e interconexión entre las empresas de una determinada industria y a su cercanía geográfica. Este aspecto es de gran importancia porque posibilita que las compañías puedan generar economías de escala, transferir conocimientos, aprender mutuamente e involucrar a otros actores como proveedores, clientes, centros de investigación y competidores (Furman et al., 2002; Heijs et al., 2002).

La organización de los determinantes de la capacidad de innovación en pilares que funcionan como insumos de un sistema ha sido retomada por otros marcos de análisis. Por ejemplo, Heijs et al. (2002) realizan una clasificación en ocho grandes determinantes para abordar el tema a una escala regional en el caso de España. Estos son el tamaño tecnológico de las empresas, el esfuerzo innovador,

el entorno económico, la participación del sector público, la infraestructura de apoyo, la interacción entre los agentes del sistema, la calidad investigadora de las universidades y la calidad de los recursos humanos en las actividades de I+D.

De Ferranti et al. (2003) proponen una clasificación integrada en cinco pilares: la existencia de una población educada y capacitada, la estabilidad macroeconómica, la infraestructura dinámica de la información, la eficiencia del sistema de innovación y los vínculos y redes entre empresas y hogares. Hollanders y Celikel Esser (2007) clasifican a los insumos del sistema de innovación en tres grandes categorías: a) los conductores de la Innovación; se trata de factores demográficos tales como el nivel educativo de los recursos humanos y su contacto con las tecnologías de la información, b) la inversión pública y privada en actividades de I+D, y c) el emprendimiento y la inversión en I+D realizada por las pequeñas y medianas empresas.

Por otro lado, el índice de innovación de Coy (2015) basa sus evaluaciones en cinco grandes insumos: el gasto en I+D, el valor agregado del sector manufacturero, el número de empresas de alta tecnología ubicadas en el país, el nivel educativo posbásico de la población y el personal dedicado a actividades de investigación.

El presente trabajo se basa en el modelo del índice global de innovación (GII, por sus siglas en inglés), publicado anualmente por la OMPI, la Universidad de Cornell y el INSEAD. El GII evalúa anualmente 82 indicadores para 128 países y economías, además retoma la perspectiva de insumos y productos y su organización en pilares. En el GII existen cinco pilares que representan a los insumos, denominados Instituciones, Capital Humano e Investigación, Infraestructura, Sofisticación del Mercado y Sofisticación de Negocios. Por otro lado, los productos del sistema están representados en dos pilares más: Conocimiento y Tecnología y Productos Creativos.

En el presente trabajo se utilizaron datos provenientes del GII, correspondientes a los países de la OCDE para el periodo comprendido desde 2013 hasta 2018. Se eligió este periodo de estudio para utilizar todas las emisiones del índice disponibles y conformar bases de datos más amplias. Los únicos países de la OCDE que se excluyeron del análisis fueron la República Eslovaca, Lituania y Letonia por la poca disponibilidad de información sobre ellos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Variable dependiente del modelo: Capacidad de innovación

Para representar a la capacidad de innovación en el modelo se utilizó el indicador denominado Creación de Conocimiento, el cual es publicado como parte del GII. La calificación de cada país en creación de conocimiento es el resultado del promedio del desempeño nacional en cinco indicadores: solicitudes de patentes realizadas por los residentes ante instancias nacionales e internacionales, solicitudes de modelos de utilidad solicitados ante instancias nacionales, número de artículos científicos y técnicos publicados en revistas con revisión por pares y las citas de dichos artículos (a través del índice H).

El GII busca reflejar íntegramente los resultados obtenidos por el país en la actividad inventiva e innovadora. Para 2016, los países de la OCDE que recibieron las calificaciones más altas en este indicador fueron Suiza, Suecia, Corea del Sur, Países Bajos y Estados Unidos; mientras que entre los más rezagados se encontraron México, Chile, Grecia y Hungría.

Variables independientes del modelo

Instituciones. En el GII esta variable está compuesta por siete indicadores que dan cuenta del desempeño nacional en materia de atracción de inversiones, gobernabilidad, generación de incentivos a la innovación y protección a los derechos sobre la propiedad intelectual (figura 1). Los siete indicadores evaluados son Estabilidad Política y Seguridad, Efectividad del Gobierno, Calidad de la Regulación, Imperio de la Ley, Costo de Liquidación de un Trabajador, Facilidad para Iniciar un Negocio, Facilidad para Resolver la Insolvencia y Facilidad para Pagar Impuestos.

Los países que destacan en este indicador son Suiza, Suecia, Finlandia, Países Bajos, Estados Unidos y Alemania. Es de llamar la atención que un país destacado en creación de conocimiento como Corea del Sur no aparezca bien posicionado en la evaluación de sus instituciones, situación que puede relacionarse con sus recientes fricciones con Corea del Norte. Los miembros de la OCDE más rezagados en este indicador son México, Turquía y Grecia.

Capital humano e investigación. La calificación que el GII otorga a los países en el rubro de capital humano e investigación busca dimensionar las capa-

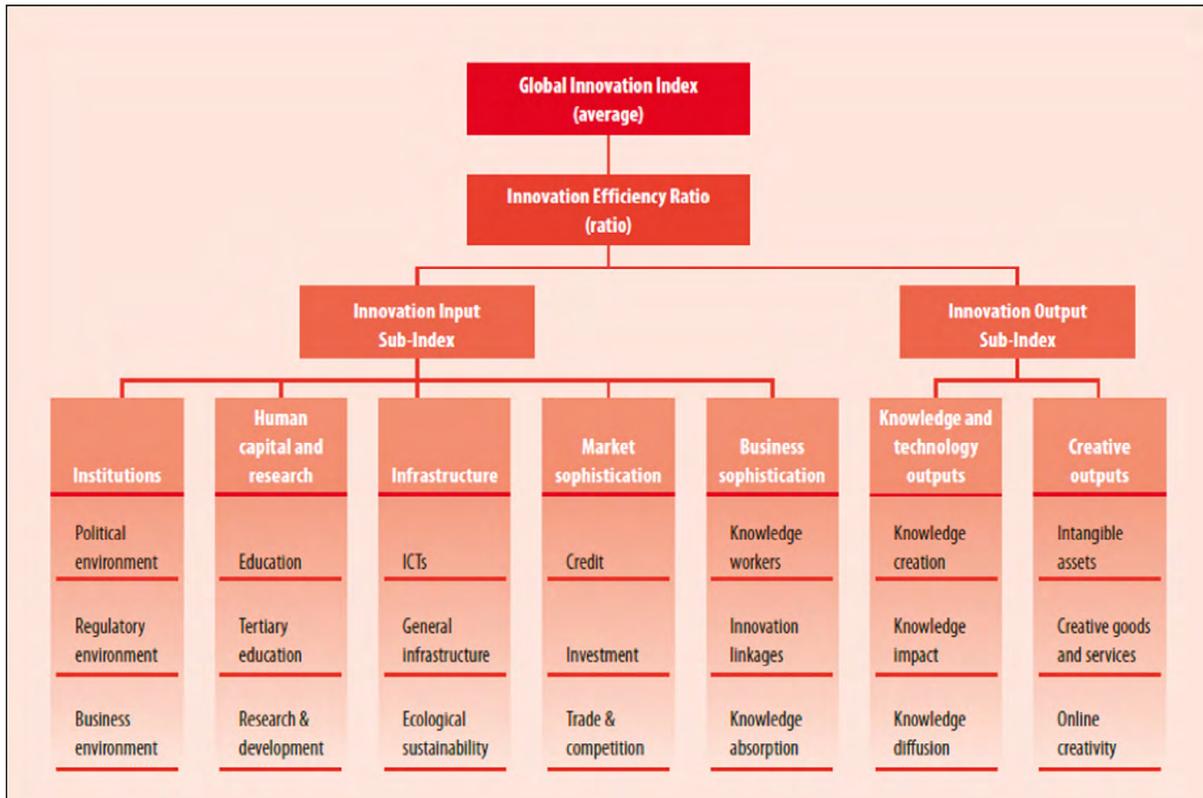


Figura 1. Pilares del Índice Global de Innovación y su conformación. Fuente: OMPI, Universidad de Cornell & INSEAD (s. f.).

ciudades nacionales para proveer a la población de educación básica y terciaria además de promover las tareas de (I+D). Esta calificación se obtiene de la valoración de 12 indicadores: el gasto en educación como porcentaje del producto interno bruto (PIB), el gasto educativo gubernamental por alumno, la escolaridad esperada, el puntaje en la prueba *Programme for International Student Assessment* (PISA), el cociente de estudiantes entre maestros en secundaria, la cobertura en educación terciaria, el porcentaje de graduados en ciencias e ingenierías, la movilidad estudiantil en educación terciaria, el número de investigadores, el gasto en I+D como porcentaje del PIB, el gasto promedio en I+D de las tres principales firmas del país y la calificación de las tres principales universidades del país en el *QS University Ranking*.

Los países mejor posicionados en el indicador de capital humano e investigación en 2016 fueron Finlandia, Dinamarca, Corea del Sur, Suecia, Suiza y Reino Unido. Los países de la OCDE peor evaluados en este indicador fueron Chile, México, Turquía y Polonia.

Infraestructura. La infraestructura adecuada en materia de transportes, comunicaciones y energía, fa-

cilita la producción y el intercambio de las ideas, los bienes y servicios, al mismo tiempo que incrementa la productividad y la eficiencia de las compañías (OMPI, Universidad de Cornell, & INSEAD, s. f.). El indicador de Infraestructura del GII se compone de tres subevaluaciones: el uso y acceso a las tecnologías de la información y comunicación (TIC), las condiciones generales de la infraestructura (calculadas a partir de la producción de electricidad, el desempeño logístico y la formación bruta de capital) y la sustentabilidad. Los países miembros de la OCDE mejor evaluados en infraestructura en 2016 fueron Noruega, Reino Unido, Suecia, Australia y Japón. Los peor posicionados fueron México, Turquía, Polonia y Grecia.

Sofisticación del mercado. El indicador de sofisticación del mercado evalúa la disponibilidad de créditos para actividades productivas en el país, la amplitud de aquel y la competencia entre las compañías. Estas características son necesarias para que existan mejores condiciones para la inversión privada y para que los consumidores demanden productos con un mayor contenido tecnológico. El país mejor posicionado en sofisticación del mercado es EE. UU., le siguieron en importancia Canadá, Reino Unido y Dina-

marca. Los países más rezagados en este indicador fueron Eslovenia, Hungría, Luxemburgo y México.

Sofisticación de negocios. Se refiere al empleo de profesionistas y técnicos altamente especializados en la producción nacional de las economías. Este indicador evalúa tres subíndices: el empleo en áreas relacionadas con el conocimiento, los vínculos en materia de innovación (representada por aspectos como la colaboración entre universidades e industria, el desarrollo de clústeres y el financiamiento externo y privado a las actividades de I+D) y la absorción de conocimientos (representada por factores como las importaciones de alta tecnología, la inversión extranjera directa (IED) y los pagos erogados por uso de propiedad intelectual) (OMPI, Universidad de Cornell, & INSEAD, s. f.). Los países con la mejor sofisticación de negocios en 2016 fueron Luxemburgo, Suiza y Finlandia. Los más rezagados en este indicador fueron Grecia, Turquía y México.

Instrumento de medición utilizado

Con las bases de datos mencionadas se procedió a calcular un modelo GLM que permitiera identificar la dirección e intensidad de las relaciones entre estas variables. El GLM, al igual que el modelo lineal clásico (ML), se utiliza para cuantificar los elementos explicativos de un fenómeno por medio de las relaciones probabilísticas entre las variables que lo componen. El GLM se ha convertido en una opción utilizada frecuentemente para la modelación de relaciones de dependencia en las cuales concurren mediciones de atributos y actitudes expresadas de manera discreta, nominal u ordinal o cuando no es posible cumplir con los supuestos de linealidad o normalidad (López-González & Ruiz-Soler, 2011).

El GLM generaliza la regresión lineal convencional al permitir que el componente medio dependa de un predictor lineal a través de una función no lineal, y la distribución del componente estocástico pueda ser cualquier miembro de la familia exponencial lineal. Esto le permite ser utilizado con datos continuos, de proporción o de conteo discreto. Mientras en el modelo lineal se combina la aditividad de los efectos de las covariables con la normalidad de las respuestas y la homocedasticidad, en el GLM estos tres elementos no se satisfacen necesariamente (Bianco, 2010).

Por lo anterior, los GLM presentan ciertas diferencias con los ML, las cuales los vuelven más versátiles y adaptables:

- En el ML se produce una relación de identidad entre los valores ajustados y el predictor lineal, mientras en el GLM la linealidad se establece en la escala del predictor lineal, pero no en la escala de los valores ajustados.
- El componente aleatorio del ML debe distribuirse de manera normal, ya que según sea la distribución de los errores serán las distribuciones condicionadas de los valores pronosticados. En el GLM el componente aleatorio no sigue necesariamente una distribución normal, sino que utiliza cualquier distribución de la familia exponencial y, por tanto, los valores pronosticados no deben ser normales necesariamente.
- En el ML las distribuciones condicionadas de los valores pronosticados de la variable de respuesta deben ser homocedásticas. En el GLM los errores pueden seguir cualquier distribución de la familia exponencial por lo que la homocedasticidad no es imprescindible (Badiella, 2011; López-González & Ruiz-Soler, 2011).

Por las razones anteriores, se decidió utilizar al GLM para realizar el presente ejercicio de medición, lo que permitió contrastar las calificaciones obtenidas por estos países sin la necesidad de dejar fuera ninguno por problemas de heterocedasticidad o falta de normalidad.

El presente trabajo obedece a la lógica de un censo; es decir, se tomaron en cuenta todas las entidades observables, salvo por aquellas para las cuales no se contó con información suficiente, por tanto, no fue necesario realizar un cálculo muestral. La hipótesis del modelo econométrico propuesto responde a la siguiente función:

$$CDC = \beta_0 + \beta_1(SDN) + \beta_2(CHI) + \beta_3(INF) + \beta_4(INS) + \beta_5(SDM) + \varepsilon$$

donde:

CDC: variable dependiente *creación de conocimiento*

$\beta_{1...5}$: relación existente entre cada una de las variables explicativas y la variable dependiente

SDN: variable *sofisticación de negocios*

CHI: variable *capital humano e investigación*

INF: variable *infraestructura*

INS: variable *instituciones*

SDM: variable *sofisticación de mercado*

ε : término de error

En el modelo propuesto se realizó utilizando las bases de datos del GII de 2013 a 2018 para conseguir

Tabla 1
Resultados del modelo econométrico

Variable	Coefficiente	Error estándar	Estadístico Z	Valor Prob.
<i>Sofisticación de negocios</i>	0.9544	0.1224	7.7948	0.0000
<i>Capital humano e investigación</i>	0.6938	0.1241	5.5884	0.0000
<i>Infraestructura</i>	0.1925	0.1370	1.4049	0.1600
<i>Instituciones</i>	-0.3299	0.1134	-2.9074	0.0036
<i>Sofisticación de mercado</i>	0.4175	0.0962	4.3382	0.0000
C	-46.140	6.6884	-6.8986	0.0000

Nota: Variable dependiente: Creación de conocimiento. Método: Modelo Lineal Generalizado. Observaciones incluidas: 198.
Fuente: Cálculos propios con base en datos de OMPI, Universidad de Cornell e INSEAD (s. f.).

un panel de datos balanceado que incluyera a los 33 países de la OCDE para los que se dispuso de información. Los cálculos se realizaron utilizando la versión 9.5 del programa de cómputo E-views. Se contó con un total de 198 observaciones divididas en seis periodos de tiempo que se modelaron de manera simultánea. Los resultados del modelo propuesto se comentan en el siguiente apartado.

RESULTADOS

Los resultados del modelo econométrico propuesto pueden observarse a continuación en la tabla 1.

De los cinco determinantes sometidos a prueba cuatro resultaron estadísticamente significativos a 95% de nivel de confianza. El determinante con el mayor poder explicativo es el denominado *sofisticación de negocios*, con un coeficiente de 0.9544. Si lo anterior se interpreta a manera de elasticidades puede decirse que a los cambios producidos en la variable *sofisticación de negocios* corresponde un cambio casi directamente proporcional en la Creación de Conocimiento. Lo anterior indica que los rendimientos que obtienen los países de invertir en la capacitación de personal especializado y en su vinculación con la industria son altamente reutilizables en la generación de innovaciones. Este hallazgo pone énfasis particular en el hecho de que los países que se benefician de sus recursos humanos en materia de innovación son aquellos que logran no solo prepararlos sino mantenerlos empleados en actividades afines a su formación.

Le siguió en importancia el determinante Capital Humano e Investigación con un coeficiente de

0.6938; es decir, que un avance porcentual unitario en este indicador debe provocar un avance de 0.69% en la Creación de Conocimiento. Este hallazgo fortalece la idea de la importancia de invertir en la educación de calidad para generar mejoras en la capacidad nacional de innovación, promoviendo la suficiencia presupuestaria y los avances, tanto cualitativos como cuantitativos.

El tercer determinante con el mayor peso fue la *sofisticación del mercado*, con un coeficiente de 0.4175. Esto pone de manifiesto la importancia que tiene para la innovación la existencia de competencia entre las firmas, el que exista un mercado amplio y exigente que demande los nuevos productos y servicios que genera la industria y la necesidad de mantener un entorno favorable para las actividades de la iniciativa privada. Estos aspectos pueden intervenirse a través de la toma de decisiones de política, la adecuada regulación de la competencia y la generación de incentivos para las empresas.

El determinante de *instituciones* también muestra significancia estadística; sin embargo, su signo no es el esperado. Esto puede deberse a casos como el de Corea del Sur, que siendo un líder en la generación de conocimiento, no resultó muy bien evaluado en cuanto a sus instituciones; otros casos que podrían explicar este comportamiento son los de Canadá, Noruega, Nueva Zelanda y Dinamarca, países con instituciones muy bien evaluadas que no son particularmente destacados en generación de conocimiento.

El único determinante que no resultó estadísticamente significativo a 95% de nivel de confianza

fue *infraestructura*. Esto podría relacionarse con el hecho de que los países seleccionados tienen en general calificaciones bastante equilibradas en el indicador, por lo que la falta de contrastes importantes podría estar provocando que la variable pierda representatividad.

DISCUSIÓN

Los resultados del presente trabajo son coincidentes con otros trabajos de la materia. Por ejemplo, Heijs et al. (2002) concuerdan en la significancia estadística de variables como la *infraestructura* y el *capital humano*, aunque encuentran un mayor poder explicativo en las características de la iniciativa privada prevalecientes en cada región.

De manera similar (en su estudio para los países de la OCDE), Furman et al. (2002) corroboran la importancia de variables como el *capital humano*, la *infraestructura* y la *sofisticación de negocios*; a diferencia de lo encontrado en este trabajo, los autores lograron comprobar la importancia de la actuación de las *instituciones*, medida a través de los incentivos a la innovación y la protección a la propiedad intelectual y la apertura comercial. En otros trabajos, como el de Ginarte y Park (1997), se comprueba la influencia de la *sofisticación del mercado*, el *capital humano* y la acción de las *instituciones* a través de la promoción a la integración económica internacional y la apertura comercial.

Coincidencias similares pueden encontrarse en los trabajos de Abdu y Jibir (2018) y de Divisekera y Nguyen (2018), quienes identifican como determinantes significativos de la capacidad para innovar a la inversión en actividades de I+D, a la formación de los recursos humanos y a las condiciones de la competencia. Un aspecto discordante del presente trabajo en comparación con otros similares se encuentra en el hecho de que no pudo comprobarse la influencia positiva de la variable *instituciones*; sin embargo, este resultado es similar al obtenido por Hu y Mathews (2008), quienes determinaron que las instituciones públicas tuvieron un impacto poco significativo en el incremento de la capacidad de innovación de China entre 1993 y 2008; de manera similar Wu, Ma y Zhuo (2017) detectaron en un estudio

para 80 países que la acción de las instituciones (a través de la protección a la propiedad intelectual) es un determinante positivo en los países desarrollados, pero suele tener un impacto negativo en los países emergentes. En este mismo orden de ideas, Khedhaouria y Thurik (2017) encuentran, a través del uso de la lógica difusa que, en determinados casos, tener altas evaluaciones en la variable *instituciones* del GII no es una condición necesaria para que los países alcancen niveles altos de productividad en innovación. Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de analizar a las instituciones en un contexto más cercano a cada sistema de innovación.

CONCLUSIONES

Los países de la OCDE ofrecen un escenario interesante en el cual estudiar a la temática de la innovación, dada la diversidad de sus miembros y los profundos contrastes que los distinguen. Los resultados encontrados durante el presente trabajo son coherentes con la teoría del tema, particularmente con el enfoque microeconomicista postulado por Michael Porter, el cual brinda una gran importancia a la acumulación de capital humano y a las actividades de las empresas en la generación de innovaciones.

Se logró comprobar la influencia positiva de tres de las cinco variables planteadas en la hipótesis. El modelo calculado sugiere que efectivamente la mayor acumulación de *capital humano* es uno de los elementos que explican las diferencias en la capacidad de innovación de los países de la OCDE. Otros factores explicativos significativos (como la *sofisticación de negocios* y la *sofisticación de mercado*) reafirman la idea de que la presión, la competencia y la rivalidad entre las empresas, así como su capacidad tecnológica, también resultan determinantes en la generación de dichas diferencias.

Es de llamar la atención el hecho de que la variable *instituciones* resultara con un signo contrario al esperado. Futuras líneas de investigación podrían abundar en el tema focalizándose en las políticas públicas, los incentivos y las instituciones encargadas del fomento a la innovación, para así poder tener una imagen más clara del impacto de ellas.

REFERENCIAS

- Abdu, M., & Jibir, A. (2018). Determinants of firms innovation in Nigeria. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 39(3), 448-456.
- Andrews, D., Criscuolo, C., & Gal, P. N. (2015). *Frontier firms, technology diffusion and public policy: micro evidence from OECD countries*. Paris: OECD.
- Badiella, L. (2011). Modelos lineales generalizados mixtos: Algunos casos prácticos. En *X Congreso Gallego de Estadística e Investigación de Operaciones*. Pontevedra: Universidad de Vigo.
- Bianco, A. (2010). *Modelo lineal generalizado*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Coy, P. (2015). *The Bloomberg Innovation Index* [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.bloomberg.com/graphics/2015-innovative-countries/>
- David, P. A., & Foray, D. (2002). An introduction to the economy of the knowledge society. *International Social Science Journal*, 54(171), 9-23. doi: 10.1111/1468-2451.00355
- De Ferranti, D. M., Perry, G. E., Gill, I., Guasch, L. J., Maloney, W. F., Sánchez-Páramo, C., & Schady, N. (2003). *Closing the gap in education and technology*. Washington, DC: The World Bank.
- Denison, E. F. (1985). *Trends in American economic growth 1929-1982*. Washington, DC: The Brookings Institution.
- Divisekera, S., & Nguyen, V. K. (2018). Determinants of innovation in tourism evidence from Australia. *Tourism Management*, 67, 157-167.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: From National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations. *Research Policy*, 29, 109-123.
- Freeman, C. (1987). *Technology, policy, and economic performance: Lessons from Japan*. London: Pinter Publishers.
- Furman, J. L., Porter, M. E., & Stern, S. (2002). The determinants of national innovative capacity. *Research Policy*, 31(6), 899-933.
- Ginarte, J. C., & Park, W. G. (1997). Determinants of patent rights: A cross national study. *Research Policy*, 26(3), 283-301.
- Griliches, Z. (1979). Issues in assesing the contribution of research and development to productivity growth. *Bell Journal of Economics*, 10(1), 92-116.
- Grupo Banco Mundial. (2016). *Indicadores del Desarrollo Mundial* [Portal electrónico]. Recuperado de <http://databank.bancomundial.org/data/reports.aspx?source=indicadores-del-desarrollo-mundial>
- Guan, J. C., Yam, R. C. M., Mok, C. K., & Ma, N. (2006). A study of the relationship between competitiveness and technological innovation capability based on DEA models. *European Journal of Operational Research*, 170(3), 971-986.
- Heijs, J., Martínez, M., Baumert, T., & Buesa Blanco, M., (2002). Los factores determinantes de la innovación: Un análisis econométrico sobre las regiones españolas. *Economía Industrial*, 347, 67-84.
- Hollanders, H., & Celikel Esser, F. (2007). *Measuring innovation efficiency*. Maastricht: Innometrics/University of Maastricht.
- Hottenrott, H., Hall, B., & Czarnitzki, D. (2016). Patents as quality signals? The implications for financing constraints on R & D. *Economics of Innovation and New Technology*, 25(3), 197-217.
- Hu, M. C., & Mathews, J. A. (2008). China's national innovative capacity. *Research Policy*, 37(9). doi: 10.1016/j.respol.2008.07.003
- Khedhaouria, A., & Thurik, R. (2017). Configurational conditions of national innovation capability: A fuzzy set analysis approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 120, 48-58.
- Leydesdorff, L. A., & Etzkowitz, H. (2003). Can "The Public" be considered as a fourth helix in university-industry-government relations? *Science and Public Policy*, 30(1), 55-61.
- López-González, E., & Ruiz-Soler, M. (2011). Análisis de datos con el modelo lineal generalizado. Una aplicación con R. *Revista Española de Pedagogía*, 69(248), 59-80.
- Moori-Koenig, V., & Yoguel, G. (1998). *El desarrollo de capacidades innovativas de las firmas en un medio de escaso desarrollo del sistema local de innovación*. Río de Janeiro: Universidad Federal de Río de Janeiro.
- Morales, M., Ortiz Riaga, C. & Arias Cante, M. (2012). Factores determinantes de los procesos de innovación: Una mirada a la situación de Latinoamérica. *Revista de la EAN*, 72, 148-163.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2018). *Sitio oficial de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico para México* [Portal electrónico]. Recuperado de <http://www.oecd.org/centrodemexico/inicio/>

- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, Universidad de Cornell, & INSEAD (s. f.) Índice Global de Innovación 2013 [pdf descargable]. Recuperado de https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/economics/gii/gii_2013.pdf
- _____ 2014 [pdf descargable]. Recuperado de https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/economics/gii/gii_2014.pdf
- _____ 2015 [pdf descargable]. Recuperado de <https://www.globalinnovationindex.org/userfiles/file/reportpdf/GII-2015-v5.pdf>
- _____ 2016 [pdf descargable]. Recuperado de <http://www.wipo.int/publications/es/details.jsp?id=4064>
- _____ 2017 [pdf descargable]. Recuperado de <https://www.insead.edu/sites/default/files/assets/dept/globalindices/docs/GII-2017-report.pdf>
- _____ 2018 [pdf descargable]. Recuperado de <https://www.globalinnovationindex.org/gii-2018-report>
- Porter, M. E. (1990). The competitive advantage of nations. *Harvard Business Review*, March-April, 73-93.
- Powell, W. W., & Snellman, K. (2004). The Knowledge Economy. *Annual Review of Sociology*, 30, 199-220.
- Wu, J., Ma, Z., & Zhuo, S. (2017). Enhancing national innovative capacity: The impact of high-tech international trade and inward foreign direct investment. *International Business Review*, 26(3), 502-514.
- Wurlod, J. D., & Noailly, J. (2018). The impact of green innovation on energy intensity: An empirical analysis for 14 industrial sectors in OECD countries. *Energy Economics*, 71, 47-61.

Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana

Coffee pulp extracts: A review of polyphenolic antioxidants and their antimicrobial activity

Saira Rocío Martínez-Alemán*, Francisco Daniel Hernández-Castillo*✉, Cristóbal Noé Aguilar-González**, Raúl Rodríguez-Herrera**

Martínez-Alemán, S. R., Hernández-Castillo, F. D., Aguilar-González, C. N., & Rodríguez-Herrera, R. (2019). Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 73-79.

RESUMEN

El descubrimiento e implementación de nuevas estrategias de biorremediación es un campo de gran interés actualmente a nivel mundial. Recientemente, la utilización de extractos acuosos y etanólicos procedentes de plantas ha atraído el interés general debido a que pueden ser obtenidos en el laboratorio y sus efectos pueden analizarse en condiciones controladas dentro de invernaderos, además de que se ha demostrado que no dañan el medio ambiente y sus residuos son fáciles de degradar. De manera interesante, se ha descrito que algunos compuestos también poseen actividad contra patógenos, entre estos se ha encontrado que extractos de la pulpa de café son capaces de inhibir el crecimiento de bacterias patógenas como *Escherichia coli* y

Palabras clave: pulpa de café; subproducto de café; extractos; polifenoles; antioxidantes; actividad antimicrobiana.

Keywords: coffee pulp; coffee byproducts; extracts; polyphenols; antioxidants; antimicrobial activity.

Recibido: 22 de mayo de 2018, aceptado: 13 de noviembre de 2018

* Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C. P. 25315, Coahuila, México. Correo electrónico: saira.mtz.aleman@hotmail.com; fdanielhc@hotmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6697-4746>; <http://orcid.org/0000-0002-1096-0959>

** Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. V. Carranza s/n esq. con Ing. José Cárdenas Valdés, Saltillo, C. P. 25280, Coahuila, México. Correo electrónico: cn_aguilar@yahoo.com; rrh961@hotmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5867-8672>; <http://orcid.org/0000-0002-6428-4925>

✉ Autor para correspondencia

Staphylococcus aureus. En esta revisión, discutiremos la implicación de los componentes antioxidantes y fitoquímicos de extractos de pulpa de café sobre el crecimiento de bacterias y hongos que ocasionan daño en los alimentos y en la salud humana.

ABSTRACT

The discovery and implementation of new bioremediation strategies is a field of great interest worldwide. Recently, the use of aqueous and ethanolic extracts from plants has attracted general interest because they can be obtained in the laboratory and their effects can be analyzed under controlled conditions in greenhouses, and it has been shown that they do not harm the environment and its residues are easy to degrade. Interestingly, some compounds also possess activity against pathogens, among these it has been found that extracts of the coffee pulp are capable of inhibiting the growth of pathogenic bacteria such as *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. In this review, we will discuss the implication of the antioxidant and phytochemical components of coffee pulp extracts on the growth of bacteria and fungi that cause damage to food and human health.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el café es una de las bebidas más consumidas, con una producción de 156.6 millones de sacos de 60 kg durante el ciclo 2016-2017. Para obtener el grano que se comercializa es necesario que las cerezas pasen por un proceso de remoción y limpieza, por medio de condiciones secas o húmedas y es a partir del procesamiento húmedo

que se originan diversos subproductos del café, los cuales son considerados principalmente como desecho (Esquivel & Jiménez, 2012; Temis-Pérez, López-Malo Vigil, & Sosa-Morales, 2011); la pulpa de café es el principal subproducto generado (Jaisan, Chase, & Punbusayakul, 2015; Kefale, Redi, & Asfaw, 2012). El valor estimado por cada 2 t de cerezas de café procesadas es de aproximadamente 1 t de pulpa de café (Roussos et al., 1995), por lo que la producción mundial asciende a 22 MMt (Pedraza, Estrada, González, & Castelán, 2016); mientras que en México la producción estimada es de 2 a 3 t/ha por año (López Altunar, Reyes Vega, Rodríguez Herrera, Aguilar González, & Prado-Barragán, 2011).

La pulpa de café es considerada como un subproducto que puede ocasionar graves problemas ambientales principalmente en los países productores de café, como contaminación de agua y suelos; además, su uso como alimento para animales se encuentra restringido por considerarse un alimento poco seguro, debido a los compuestos que contiene como polifenoles y cafeína (López Altunar et al., 2011; López Altunar et al., 2013). Sin embargo, estos componentes de la pulpa de café son considerados como compuestos bioactivos, debido a que presentan propiedades antioxidantes y biológicas (Geremu, Tola, & Sualeh, 2016), las cuales pueden potenciarse mediante la formulación de extractos de pulpa de café con distintos solventes y bajo diversas condiciones.

En la presente revisión se consideraron datos sobre la inhibición del crecimiento microbiano por medio de los compuestos polifenólicos presentes en extractos de pulpa de café, así como el efecto que presentan los compuestos antioxidantes para favorecer la actividad antimicrobiana, además de presentar otras alternativas para el uso de la pulpa de café.

Pulpa de café

Uno de los componentes de la baya o cereza del café es el mesocarpio, también conocido como pulpa de café, ubicada justo debajo del pericarpio (piel) y presenta una textura fibrosa, de coloración amarillenta y con sabor dulce (Heeger, Kosińska-Cagnazzo, Cantergiani, & Andlauer, 2017). La obtención de la pulpa de café es efectuada principalmente mediante el procesamiento húmedo del fruto de café (Esquivel & Jiménez, 2012; Geremu et al., 2016; Heeger et al., 2017), que consiste en colocar las bayas sobre agua para separar a las inmaduras,

que flotan, de las maduras, que se hunden y posteriormente eliminar de manera mecánica la pulpa de las frutas sumergidas mediante un despulpador o presionando la fruta y, por último, los restos de pulpa son eliminados (Esquivel & Jiménez, 2012).

La pulpa es considerada como el principal subproducto del café, representa cerca de 30% del peso seco de la baya entera o alrededor de 40% en frutos frescos; además, por cada kg de cerezas existe un contenido aproximado de 430 g de pulpa (Heeger et al., 2017; Rodríguez-Durán et al., 2014). Los valores nutricionales presentes en la pulpa del café son carbohidratos (50%), fibra (20%), proteínas (7-10%), grasas (1.4-2.5%) y cafeína (0.68-1.3%) (Duangjai et al., 2016; Heeger et al., 2017). En la figura 1 se muestra una porción de pulpa de café previamente seca y molida.

Compuestos fenólicos de la pulpa de café

Las plantas sintetizan metabolitos secundarios que son mejor conocidos como compuestos polifenólicos, su estructura general está conformada por un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo (Mercado-Mercado, de la Rosa Carrillo, Wall-Medrano, López-Díaz, & Álvarez-Parrilla, 2013). La pulpa es una importante fuente de compuestos fenólicos, incluyendo 1) flavonoides, con una estructura de 2-fenilcromano C6-C3-C6 formado por un anillo benzenico unido a un anillo heterocíclico primario y en la posición 2 unido a un anillo fenilo, siendo los flavonoles, los flavan-3-oles y las antocianinas las prin-



Figura 1. Pulpa de café molida.
Fotografía del equipo de investigación.

principales subclases presentes en la pulpa de café; 2) ácidos fenólicos, los cuales se subdividen en ácidos hidroxibenzoicos (presentan un grupo carboxílico y uno o más grupos hidroxilo en un anillo aromático) y ácidos hidroxicinámicos (el grupo carboxilo es reemplazado por el grupo $\text{CH}=\text{COOH}$), destacan estos últimos en pulpa de café como ácido cafeico, ácido ferúlico y ácido clorogénico (Brglez Mojzer, Knez Hrnčič, Škerget, Knez, & Bren, 2016; Peñarrieta, Tejeda, Mollinedo, Villa, & Bravo, 2014).

Rodríguez-Durán et al. (2014) analizaron el contenido unido y soluble de hidroxicinamatos en pulpa de café proveniente de siete cultivares de *Coffea arabica* en distintas etapas de maduración, como principal ácido fenólico se encontró al ácido cafeico (72-88%) en la fracción unida, mientras que en la fracción soluble, el más abundante fue el ácido clorogénico (94-98%); por otro lado, el ácido ferúlico y *p*-cumárico fueron detectados en pequeñas cantidades (Rodríguez-Durán et al., 2014).

En otro estudio realizado por Palomino García, Biasetto, Araujo y Bianchi (2015) reportaron que el compuesto fenólico más abundante en la pulpa fermentada con el hongo *Penicillium purpurogenum* fue el ácido clorogénico, con un contenido de 22.8 mg/g, seguido del ácido cafeico con 4.29 mg/g y rutina con 1.95 mg/g (Palomino García et al., 2015). Aparte, Heeger et al. (2017) evaluaron extractos acuosos de pulpa seca y encontraron como polifenoles principales al ácido clorogénico y al ácido protocatecuico, los cuales representaron más de 80% del contenido total de polifenoles; mientras que en cantidades menores a 0.1 mg/g estaban presentes el ácido gálico y rutina (Heeger et al., 2017).

Geremu et al. (2016) evaluaron la cantidad de polifenoles a partir de variedades de pulpa obtenida mediante el uso de solventes y encontraron un contenido total de 1809.9 mg GAE/g en pulpa de la variedad Ababuna extraída con 80% de metanol; mientras que la variedad 741 presentó el menor contenido de polifenoles totales con 489.5 mg GAE/g, mediante etanol a 80% para la extracción (Geremu et al., 2016). También se ha realizado la caracterización de las antocianinas de la pulpa por Murthy, Manjunatha, Sulochannama y Madhava Naidu (2012), donde utilizaron técnicas de cromatografía líquida de alta resolución acoplada con detección de matriz de fotodiodos, ionización por electrospray y espectrometría de masas.

A partir de las antocianinas se originaron 24 ± 2.0 mg de antocianinas monoméricas por cada 100 g de pulpa fresca en peso seco; mientras que la cantidad de polifenoles de la pulpa fue de 4.55 ± 0.15 mg GAE/g-1 (Murthy et al., 2012). Por otro lado, Duangjai et al. (2016) realizaron tres extractos acuosos mediante diferentes procesos de selección y congelación a muestras de pulpa, denominándolos como extractos de pulpa (*coffee pulp extracts* o CPE, por sus siglas en inglés), donde evaluaron el contenido de polifenoles a través de cromatografía líquida-ionización por electrospray-espectrometría de cuadrupolo tiempo de vuelo (LC-ESI-Q-TOF-MS). Se encontraron 29 compuestos clasificados como ácidos orgánicos pequeños, azúcares, esteroides, amidas grasas, ácido hidroxicinámico y alcaloides; mientras que 20 compuestos no pudieron ser identificados. El contenido más alto de polifenoles estaba en el extracto CPE1, además de cafeína y ácido clorogénico en mayor proporción que en CPE2 y CPE3 (Duangjai et al., 2016).

Actividad antioxidante de la pulpa de café

Los alimentos de consumo diario contienen antioxidantes, sustancias que impiden la producción de daño tisular causado por radicales libres, lo cual se lleva a cabo mediante la reducción o eliminación de los mismos; además, los antioxidantes favorecen la disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares, inflamatorias, neurodegenerativas (Parkinson y Alzheimer), hepáticas (cirrosis), diabetes tipo 2 e incluso cáncer (Coronado, Vega y León, Gutiérrez, Vázquez, & Radilla, 2015; Fonseca-García, Calderón-Jaimes, & Rivera, 2014; Pérez-Hernández, Chávez-Quiroz, Medina-Juárez, & Gámez Meza, 2013). Algunos componentes del café como melanoïdinas, ácidos fenólicos, ligninas y cafeína, tienen propiedades antioxidantes, por lo que el consumo de esta bebida representa una ingesta de hasta 64% de antioxidantes (Pérez-Hernández et al., 2013).

La pulpa de café es un subproducto que contiene principalmente ácidos hidroxicinámicos unidos a la pared celular, y también son considerados antioxidantes naturales. Mediante un proceso de fermentación en estado sólido con *Aspergillus tamarii*, Arellano-González, Ramírez-Coronel, Torres-Mancera, Pérez- Morales y Saucedo-Castañeda (2011) evaluaron las propiedades antioxidantes de muestras fermentadas y no fermentadas de pulpa de café extraída mediante metanol acuoso y, por último, realizaron una hidrólisis alcalina.

La actividad antioxidante fue evaluada a través de un método espectrofotométrico usando la concentración de ABTS (2, 2'-azinobis-3-etil-benzotiazolina-6-ácido sulfónico), en donde se encontró mejor actividad antioxidante de los polifenoles extraídos de la pulpa de café fermentada, con un contenido de 47% de ácidos hidroxicinámicos libres, probablemente liberados y metabolizados por la fermentación con *A. tamarii*, a diferencia de la pulpa de café no fermentada (Arellano-González et al., 2011).

Por otro lado, Fonseca-García et al. (2014) analizaron la capacidad antioxidante de los subproductos del café producido en la región norte de Santander, Colombia. Para pulpa de café, mediante el método FRAP (Poder Antioxidante Reductor del Hierro), se obtuvieron de 58.73-72.97 $\mu\text{mol trolox/g}$ café, mientras que por ABTS fueron de 91.49-158 $\mu\text{mol trolox/g}$ café, lo que representan cantidades muy similares a las obtenidas para la actividad antioxidante del pergamino (97.26-131.2 $\mu\text{mol trolox/g}$ café) y cáscara de café (71.78-128.5 $\mu\text{mol trolox/g}$ café) (Fonseca-García et al., 2014).

Otro estudio evaluó la capacidad antioxidante de pulpa de café por la técnica FRAP y encontraron valores similares en pulpa ensilada (206.59 $\mu\text{mol CPE g}^{-1}$ DM) y no ensilada (215.66 $\mu\text{mol trolox g}^{-1}$ DM), demostrando que el ensilado del café es un buen proceso, ya que aumenta el contenido de compuestos como proteínas, fibra y lignina (Salinas Ríos et al., 2014). Jaisan et al. (2015) prepararon extractos de pulpa de café por la técnica de maceración y utilizaron diversos solventes para determinar la actividad antioxidante mediante las pruebas de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) y FRAP; donde establecieron que el extracto de agua mostró mayor actividad antioxidante que los extractos de etanol y metanol, con valores de 3.79 ± 0.26 mmolTrolox, equivalente/100 g CPE por DPPH y 12.54 ± 0.74 mmol ácido ascórbico equivalente/100 g CPE por FRAP. Lo anterior pudo deberse a que el agua tiene mayor polaridad que el etanol y metanol, ya que actúa como mejor secuestrante de radicales en comparación de los solventes con menor polaridad (Jaisan et al., 2015).

Los mismos investigadores evaluaron la actividad antioxidante de una película de quitosano a la que incorporaron extractos acuosos de pulpa mediante la técnica de DPPH y acotaron que el incre-

mento de la concentración de pulpa en las películas mejora la actividad antioxidante desde 5 hasta 23% (Jaisan & Punbusayakul, 2016). En otro estudio realizado por Duangjai et al. (2016) determinaron la actividad antioxidante mediante las pruebas de ABTS y DPPH con el valor de CMI (concentración mínima inhibitoria) a tres extractos acuosos de pulpa de café (CPE1, CPE2 y CPE3), la mayor actividad antioxidante se presentó en el extracto CPE1 con valores de 18 $\mu\text{g/ml}$ (ABTS) and 82 $\mu\text{g/ml}$ (DPPH) (Duangjai et al., 2016). Aparte, la evaluación de la actividad antioxidante de cuatro variedades de pulpa de café (Ababuna, Dessu, 74110 y 741) con el valor de CMI y por medio de acetona, etanol y metanol como solventes de extracción en donde se estableció que la pulpa de café de la variedad Ababuna extraída con metanol fue la que mostró una capacidad antioxidante con 70% de inhibición, superior a las otras variedades (Geremu et al., 2016).

Actividad antimicrobiana de la pulpa de café y sus componentes

Existe poca información que establezca la actividad antimicrobiana del café o de alguno de sus componentes, como en el estudio realizado por Almeida, Farah, Silva, Nunan y Glória (2006), donde evaluaron la actividad antibacteriana de extractos acuosos de café (A, B y C) frente a enterobacterias (*Serratia marcescens*, *Citrobacter freundii*, *Salmonella entérica*, *Enterobacter aerogenes*, *Proteus mirabilis*, *Enterobacter cloacae*, *Proteus hauseri*, *Escherichia coli* y *Klebsiella oxytoca*) mediante el método de difusión en disco con soluciones de 2.0 mg/ml de cafeína, trigonelina, ácido clorogénico, cafeico y protocatecuico. Al evaluar los extractos de café se observó que la cepa de *C. freundii* fue la menos sensible, ya que presentó diámetros más pequeños de inhibición (7.1, 6.9 y 7.0 mm), mientras que la de *P. hauseri* fue la más sensible, con diámetros más grandes en la zona de inhibición (9.2, 9.3 y 9.8 mm); por otro lado, en la evaluación de los compuestos químicos del café, la cepa de *C. freundii* fue menos sensible al ácido clorogénico y protocatecuico (6.8 y 7.0 mm, respectivamente) a diferencia de *E. cloacae* (9.6 y 10.0 mm), que fue la cepa más sensible a estos compuestos; mientras que la cafeína fue menos efectiva contra *C. freundii*, *E. aerogenes* y *K. oxytoca*; y para el ácido cafeico y la trigonelina no hubo diferencia significativa en la inhibición de todas las bacterias evaluadas, por lo que varios de estos compuestos del café podrían ser considerados agentes antimicrobianos (Almeida et al., 2006).

Por otro lado, la actividad antibacteriana de un extracto acuoso de pulpa de café obtenido por maceración frente a las bacterias gram negativas *E. coli* y *Bacillus subtilis*, y las bacterias gram positivas *S. aureus*, *Salmonella typhimurium* y *Listeria monocytogenes*. El mayor efecto inhibitorio del extracto se presentó contra las bacterias gram positivas, en donde *S. aureus* fue la bacteria más resistente y todas las bacterias a excepción de *E. coli* fueron inactivadas por completo a una concentración de 54.95 mg/ml. El efecto de inhibición puede ser consecuencia de la conformación estructural de la pared celular de las bacterias, ya que las gram negativas tienen la pared celular rodeada con una membrana externa que impide el paso de compuestos hidrofóbicos (Jaisan et al., 2015). De manera similar, Duangjai et al. (2016) evaluaron la actividad antibacteriana de extractos acuosos de pulpa de café denominados (CPE1, CPE2 y CPE3) contra las gram positivas *Staphylococcus epidermidis* y *S. aureus*, y las bacterias gram negativas *E. coli* y *P. aeruginosa*, a través del método de difusión en pocillos de agar.

El extracto que mostró el mayor efecto inhibitorio frente a todas las bacterias fue CPE1, además la zona de inhibición de CPE1 contra las gram positivas fue mayor al compararlo con el de gram negativas. El extracto CPE1 fue más eficaz contra *S. epidermidis* al obtener un valor de 4.69 mg/ml en la CMI; además de que el extracto únicamente tiene efecto bacteriostático, ya que el valor de CMB fue de 300 mg/ml, por lo que no es considerado como agente antibacteriano (Duangjai et al., 2016).

Existe poca información sobre la actividad antifúngica de compuestos del café o de extractos de pulpa de café. Al respecto, Nonthakaew, Matan, Aewsiri y Matan (2015) vieron la necesidad de tomar medidas alternativas para evitar el uso de bolsas de plástico para proteger, almacenar y transportar alimentos; además de que estos son susceptibles no solo al ataque de bacterias, sino también de hongos. Debido a que el café contiene compuestos como cafeína, ácido clorogénico y polifenoles, de los cuales ya se ha reportado que presentan actividad frente a bacterias fitopatógenas, que dañan los alimentos, e incluso que afectan a los humanos, decidieron evaluar la actividad antifúngica del extracto de café molido (CSCGE) en la primera, segunda y tercera extracción, y del extracto crudo de café (CCE) en las primeras dos extracciones contra los hongos *A. niger*, *Aspergillus flavus*, *Eurotium amstelodami*, *P. chrysogenum* y *Penicillium citrinum*;

lo anterior mediante el método de dilución en agar para determinar el valor de la CMI. Dentro de los resultados obtuvieron que los valores de CMI fueron de 100-230 µg/ml y de 300-460 µg/ml para la primera y segunda extracción de los extractos CCE y CSCGE, respectivamente. Lo anterior determinó que el hongo más resistente fue *A. flavus* y que los extractos CCE fueron más efectivos contra los hongos evaluados que los CSCGE, lo cual depende en gran parte de la polaridad de los solventes usados para la extracción, ya que hay compuestos, como los alcaloides, que no pueden disolverse bien en agua. En este estudio fue posible evaluar en condiciones *in vivo* la actividad antifúngica de los extractos, se realizaron pruebas en la superficie de vainas de hojas de palma areca durante el almacenamiento, en donde se observó una inhibición total del crecimiento de los hongos mediante la segunda extracción de CSCGE a 460 µg/ml durante 21 días, lo cual fue disminuyendo hasta el día 42, cuando no pudo evitarse el crecimiento de los hongos; mientras que en el tratamiento control los hongos crecieron en un lapso de 3 días, demostrando que estos extractos pueden alargar la vida útil no solo de las hojas de palma, sino de otras plantas y alimentos (Nonthakaew et al., 2015). Lo anterior demuestra que el uso de extractos de pulpa de café puede utilizarse para controlar el crecimiento y desarrollo de agentes microbianos.

Otros usos de la pulpa de café

La industria del café genera grandes cantidades de pulpa durante el procesamiento de la fruta, por lo que en años recientes se ha buscado la manera de utilizar este subproducto. Algunas opciones han incluido la producción de enzimas como amilasa (Murthy, Naidu, & Srinivas, 2009), pectinasa (Pushpa, 2011) y tannasa (Adwitiya & Venkatachalapathy, 2016); así como la transformación de taninos de pulpa de café con *Penicillium verrucosum* para producir ácido gálico (Bhoite, Navya, & Murthy, 2013). La pulpa también puede utilizarse como suplemento en las dietas de animales (Salinas-Ríos et al., 2015); en otros productos alimenticios como saborizantes, mermeladas, jaleas y jugos procesados utilizando pulpa de café fresca (Murthy et al., 2012), o tener uso como material para producir colorantes alimenticios como antocianinas (Hartati, Riwayati, & Kurniasari, 2012). También es posible fermentar extractos de pulpa para producir etanol (Tavares Menezes et al., 2013) e incluso el elemento estudiado es útil para fabricar briquetas y píldoras por generación de calor (Cubero-Abarca, Moya, Valaret, & Tomazello Filho, 2014).

CONCLUSIONES

La pulpa de café es un subproducto poco valorado, ya que normalmente se desecha durante el proceso para la obtención del mismo; a pesar de esto puede ser utilizado para inhibir el crecimiento de microorganismos como hongos fitopatógenos, donde no se ha explorado el potencial que puede llegar a tener, ya sea a través de extractos acuosos y etanólicos o mediante el aislamiento y purificación

de componentes importantes como la cafeína, lo cual sería de gran utilidad para el control de enfermedades fúngicas en campo y en poscosecha.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer el apoyo de los miembros del Departamento de Parasitología (UAAAN Saltillo), y del Departamento de Investigación en Alimentos (UA de C) durante la preparación de la presente revisión científica.

REFERENCIAS

- Adwitiya, D., & Venkatachalapathy, N. (2016). Profitable exploitation of coffee pulp- a review. *International Journal of Applied and Natural Sciences*, 5(1), 75-82.
- Almeida, A. A. P., Farah, A., Silva, D. A. M., Nunan, E. A., & Glória, B. A. (2006). Antibacterial activity of coffee extracts and selected coffee chemical compounds against Enterobacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(23), 8738- 8743. doi: 10.1021/jf0617317
- Arellano-González, M. A., Ramírez-Coronel, M. A., Torres-Mancera, M. T., Pérez- Morales, G. G., & Saucedo-Castañeda, G. (2011). Antioxidant activity of fermented and nonfermented coffee (*Coffea arabica*) pulp extracts. *Food Technology and Biotechnology*, 49(3), 374-378.
- Bhoite, R. N., Navya, P. N., & Murthy, P. S. (2013). Statistical optimization of bioprocess parameters for enhanced gallic acid production from coffee pulp tannins by *Penicillium verrucosum*. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 43(4), 350-363. doi:10.1080/10826068.2012.737399
- Brglez Mojzer, E., Knez Hrnčič, M., Škerget, M., Knez, Ž., & Bren, U. (2016). Polyphenols: Extraction methods, antioxidative action, bioavailability and anticarcinogenic effects. *Molecules*, 21(7), 901. doi: 10.3390/molecules21070901
- Coronado, M., Vega y León, S., Gutiérrez, R., Vázquez, M., & Radilla, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(2), 206-212. doi: 10.4067/S0717-75182015000200014
- Cubero-Abarca, R., Moya, R., Valaret, J., & Tomazello Filho, M. (2014). Use of coffee (*Coffea arabica*) pulp for the production of briquettes and pellets for heat generation. *Ciência e Agrotecnologia*, 38(5), 461-470. doi: 10.1590/S1413-70542014000500005
- Duangjai, A., Suphrom, N., Wungrath, J., Ontawong, A., Nuengchamnon, N., & Yosboonruang, A. (2016). Comparison of antioxidant, antimicrobial activities and chemical profiles of three coffee (*Coffea arabica* L.) pulp aqueous extracts. *Integrative Medicine Research*, 5(4), 324-331. doi: 10.1016/j.imr.2016.09.001
- Esquivel, P., & Jiménez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by- products. *Food Research International*, 46(2), 488-495. doi: 10.1016/j.foodres.2011.05.028
- Fonseca-García, L., Calderón-Jaimes, L., & Rivera, M. (2014). Capacidad antioxidante y contenido de fenoles en café y subproductos del café producido y comercializado en norte de Santander (Colombia). *Vitae*, 21(3), 228-236.
- Geremu, M., Tola, Y. B., & Sualeh, A. (2016). Extraction and determination of total polyphenols and antioxidant capacity of red coffee (*Coffea arabica* L.) pulp of wet processing plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 3(25), 1-6. doi: 10.1186/s40538-016-0077-1
- Hartati, I., Riwayati, I., & Kurniasari, L. (2012). Potential production of food colorant from coffee pulp. *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, 1(1), 66-71.
- Heeger, A., Kosińska-Cagnazzo, A., Cantergiani, E., & Andlauer, W. (2017). Bioactives of coffee cherry pulp and its utilisation for production of Cascara beverage. *Food Chemistry*, 221, 969-975. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.11.067
- Jaisan, C., Chase, S., & Punbusayakul, N. (2015). Antioxidant and antimicrobial activities of various solvents extracts of arabica coffee pulp. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 19(5), 224-227.
- Jaisan, C., & Punbusayakul, N. (2016). Development of coffee pulp extract- incorporated chitosan film and its antimicrobial and antioxidant activities. *KKU Research Journal*, 21(14 Suppl.), 140-149. doi: 10.14456/kkurj.2016.17
- Kefale, A., Redi, M., & Asfaw, A. (2012). Potential of bioethanol production and optimization test from agricultural waste: The case of wet coffee processing waste (pulp). *International Journal of Renewable Energy Research*, 2(3), 446-450.

- López Altunar, T., Prado-Barragán, A., Nevárez-Moorillón, G. V., Contreras Esquivel, J. C., Rodríguez Herrera, R., & Aguilar González, C. N. (2013). Incremento de la capacidad antioxidante de extractos de pulpa de café por fermentación láctica en medio sólido. *CyTA-Journal of Food*, 11(4), 359-365. doi:10.1080/19476337.2013.773563
- López Altunar, T., Reyes Vega, M. L., Rodríguez Herrera, R., Aguilar González, C. N., & Prado-Barragán, L. A. (2011). La pulpa de café, un residuo fuente de antioxidantes polifenólicos. *CienciCierto*, 7(25). Recuperado de <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/CienciaCierto/CC25/1pulpa.html>
- Mercado-Mercado, G., de la Rosa Carrillo, L., Wall-Medrano, A., López-Díaz, J. A., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 36-46. doi: 10.3305/nh.2013.28.1.6298
- Murthy, P. S., Manjunatha, M. R., Sulochannama, G., & Madhava Naidu, M. (2012). Extraction, characterization and bioactivity of coffee anthocyanins. *European Journal of Biological Sciences*, 4(1), 13-19. doi: 10.5829/idosi.ejbs.2012.4.1.6149
- Murthy, P. S., Naidu, M. M., & Srinivas, P. (2009). Production of α -amylase under solid- state fermentation utilizing coffee waste. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 84(8), 1246-1249. doi: 10.1002/jctb.2142
- Nonthakaew, A., Matan, N., Aewsiri, T., & Matan, N. (2015). Antifungal activity of crude extracts of coffee and spent coffee ground on areca palm leaf sheath (*Areca catechu*) based food packaging. *Packaging Technology and Science. An International Journal*, 28(7), 633-645. doi: 10.1002/pts.2132
- Palomino García, L. R., Bissetto, C. R., Araujo, A. R., & Bianchi, V. L. (2015). Enhanced extraction of phenolic compounds from coffee industry's residues through solid state fermentation by *Penicillium purpurogenum*. *Food Science and Technology*, 35(4), 704-711. doi: 10.1590/1678-457X.6834
- Pedraza, B. P. E., Estrada, L. I., González, R. M., & Castelán, O. O. A. (2016). La pulpa de café, un subproducto valioso para la alimentación del ganado lechero en los trópicos: Evaluación de su potencial. En XVII Congreso Bienal AMENA. Recuperado de <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/pulpa-cafe-subproducto-valioso-f33082.htm>
- Peñarrieta, J. M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Villa, J. L., & Bravo, J. A. (2014). Phenolic compounds in food. *Revista Boliviana de Química*, 31(2), 68-81.
- Pérez-Hernández, L. M., Chávez-Quiroz, K., Medina-Juárez, L. Á., & Gámez Meza, N. (2013). Compuestos fenólicos, melanoidinas y actividad antioxidante de café verde y procesado de las especies *Coffea arabica* y *Coffea canephora*. *Biotecnia*, 15(1), 51-56. Recuperado de <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/136/128>
- Pushpa, S. M. (2011). *Biotechnological approaches to production of bioactives from coffee by-products* (Tesis doctoral). Recuperada de <http://ir.cftri.com/10749/>
- Rodríguez-Durán, L. V., Ramírez-Coronel, M. A., Aranda-Delgado, E. A., Nampoothiri, K. M., Favela-Torres, E., Aguilar González, C. N., & Saucedo-Castañeda, G. (2014). Soluble and bound hydroxycinnamates in coffee pulp (*Coffea arabica*) from seven cultivars at three ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(31), 7869-7876. doi: 10.1021/jf5014956
- Roussos, S., Aquíhuatl, M. A., Trejo-Hernández, M. R., Gaime Perraud, I., Favela, E., Ramakrishna, M., Raimbault, M., & Viniegra-González, G. (1995). Biotechnological management of coffee pulp-isolation, screening, characterization, selection of caffeine-degrading fungi and natural microflora present in coffee pulp and husk. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 42(5), 756-762. doi: 10.1007/BF00171958
- Salinas Ríos, T., Ortega Cerrilla, M. E., Sánchez Torres Esqueda, M. T., Hernández Bautista, J., Díaz Cruz, A., Figueroa Velasco, J. L., Guinzberg Perrusquía, R., & Cordero Mora, J. L. (2015). Productive performance and oxidative status of sheep fed diets supplemented with coffee pulp. *Small Ruminant Research*, 123(1), 17-21. doi: 10.1016/j.smallrumres.2014.09.008
- Salinas Ríos, T., Sánchez Torres, T., Ortega Cerrilla, M. E., Soto Hernández, M., Díaz Cruz, A., Hernández Bautista, J., Nava Cuéllar, C., & Vaquera Huerta, H. (2014). Changes in composition, antioxidant content, and antioxidant capacity of coffee pulp during the ensiling process. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 43(9), 492-498. doi: 10.1590/S1516-35982014000900006
- Tavares Menezes, E. G., Ribeiro Do Carmo, J., Tavares Menezes, A.G., Lembi Ferreira Alves, J. G., Pimenta, C. J., & Queiroz, F. (2013). Use of different extracts of coffee pulp for the production of bioethanol. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 169(2), 673-687. doi: 10.1007/s12010-012-0030-0
- Temis-Pérez, A. L., López-Malo Vigil, A., & Sosa-Morales, M. E. (2011). Producción de café (*Coffea arabica* L.): Cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 5(2), 54-74.

La vacunación de murciélagos contribuirá a obtener y mantener el estado libre de rabia en las naciones

The vaccination of bats will contribute to obtain and maintain the rabies-free state in the nations

Melissa Ruiz-Saldaña*✉

Ruiz-Saldaña, M. (2019). La vacunación de murciélagos contribuirá a obtener y mantener el estado libre de rabia en las naciones. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 80-88.

RESUMEN

La rabia es altamente contagiosa y tiene una mortalidad cercana a 100%. Los pacientes que presentan la enfermedad, manifiestan sintomatología grave como irritabilidad y excesivo dolor. Los esfuerzos de vacunación a nivel mundial de los animales de compañía han permitido un control de la enfermedad, llevándola prácticamente a la erradicación. Este estatus puede revertirse porque no solo los animales de compañía pueden transmitir la enfermedad. Existe probabilidad de contagio humano a través de la fauna silvestre. En el presente trabajo se pretendió determinar la principal fuente de contagio que provoca a las naciones perder el estatus de erradicación de la rabia. Se encontró que un medio de contagio crítico es la transmisión de rabia por parte de los murciélagos, sin importar sus hábitos alimenticios, por lo que se proponen estrategias para alcanzar la meta de la erradicación de la rabia a nivel mundial.

ABSTRACT

Rabies is highly contagious and has a mortality close

Palabras clave: erradicación; fauna silvestre; murciélagos; preservación; rabia; vacunación.

Keywords: eradication; wildlife; bats preservation; rage; vaccination.

Recibido: 12 de abril de 2018, aceptado: 24 de octubre de 2018

* Universidad de la Costa. Carretera al Libramiento Paraje de Las Pulgas, Distrito Jamiltepec, C. P. 71600, Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, México. Correo electrónico: ruiz.sm@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2941-6942>

✉ Autor para correspondencia

to 100%. Patients who have the disease, manifest very severe symptoms such as irritability and excessive pain. The efforts of worldwide vaccination of companion animals have allowed control of the disease, practically leading to eradication. This status is lost if we do not consider that not only pets can transmit the disease. There is probability of human contagion through wildlife. In the present work, the intention was to determine the main source of contagion that causes the nations to lose the status of eradication of rabies. Findings show that a means of critical contagion is the transmission of rabies by bats, regardless of their eating habits, so strategies proposed intend to achieve the goal of eradicating rabies worldwide.

INTRODUCCIÓN

La palabra rabia viene de la raíz india *rabh*, que significa conducta violenta. De acuerdo a un informe de 2017 de la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés), esta enfermedad mata a 59,000 personas anualmente alrededor del mundo, la mayoría son niños (WHO, 2017). Es una de las enfermedades más antiguas de la que se tiene registro e incluso se piensa que puede ser más antigua que la humanidad. El primer registro formal acerca de la rabia se encontró en el código mesopotámico Eshnunna (1930 a. C.) (Rupprecht, Stöhr, & Meredith, 2001).

En un inicio solo se registró para los animales. Las personas detectaban que los perros presentaban conducta violenta principalmente en época de calor, por lo que a este periodo del año se le nombró canícula, en referencia a la acción que

ejercía la estrella Sirio de la constelación del Can Mayor, sobre el Sol. Demócrito de Abdera (500 a. C.) hace la primera descripción clara de la rabia animal. Posteriormente, alrededor del año 320 a. C., Aristóteles describió la rabia en los humanos y la relacionó con la mordedura de animales. Hipócrates dio detalles acerca de su desarrollo, describió que las personas presentaban miedo y rehusaban beber agua, además los pacientes tenían temblores ante el menor ruido, así como parálisis y convulsiones (Llamas López & Orozco Plascencia, 2009).

Taxonomía de la rabia

La rabia es ocasionada por virus pertenecientes al orden Mononegavirale, familia Rhabdoviridae, género *Lyssavirus* (Madhusudana, Subha, Thankappan, & Ashwin, 2012). El género *Lyssavirus* ha sido dividido en tres filogrupos. El grupo I abarca al virus de la rabia propiamente dicho: RABV, al *Duvenhage virus*, *European bat lyssavirus* tipos 1 y 2 (EBLV), *Australian bat lyssavirus*, *Aravan virus*, *Khujand virus*, *Irkut virus* y el *Bokeloh bat lyssavirus*. El grupo II agrupa al *Lagos bat virus*, *Mokola virus*, *Shimoni bat virus*. El grupo III abarca al *West Caucasian bat virus*, *Ikoma lyssavirus* y el *Lleida bat lyssavirus* (Hu et al., 2018). Existen otros virus que aún no han sido clasificados en un grupo y se piensa en la posibilidad de integrar un nuevo grupo con ellos. Dentro de estos virus sin clasificar están el *Gannoruwa bat lyssavirus*, *Kotalahti bat lyssavirus* (Nokireki, Tammiranta, Kokkonen, Kantala, & Gadd,

2018) y el *Taiwan bat lyssavirus* (tabla 1) (Nokireki, Jakava-Viljanen, Virtala, & Sihvonen, 2017).

Caracterización del virus RABV

En 1903 Remlinger y Riffat-Bay identificaron que el RABV es un virus con ARN de cadena sencilla, sentido negativo, no segmentado (Madhusudana et al., 2012). El genoma del virus de la rabia contiene cinco genes altamente conservados pertenecientes a las siguientes proteínas: glicoproteína (G), nucleoproteína (N), proteína matriz (M), proteína no estructural (NS) y polimerasa dependiente de ARN (L). La proteína G es especialmente importante, ya que es la responsable de la unión con el receptor en las células blanco, asimismo, es la proteína contra la que están dirigidas las vacunas contra el virus de la rabia (Singh et al., 2017).

Patogenia de la rabia

El periodo de incubación puede variar enormemente dependiendo del subtipo de virus, la cantidad del inóculo, así como de la distancia al sistema nervioso central. En casos extremos el periodo de incubación ha llegado a ser de 27 meses o incluso seis años. No obstante, el promedio del tiempo de incubación es entre 20 y 90 días.

Cuando el virus ingresa al organismo se une mediante la proteína G a su receptor. Los receptores en la célula huésped pueden ser los siguientes: el receptor para acetilcolina, la molécula

Tabla 1
Tipos de Lyssavirus

Grupo I	Rabies virus (RABV) Duvenhage virus (DUVV) European bat <i>Lyssavirus</i> tipo 1 (EBLV-1) European bat <i>Lyssavirus</i> tipo 2 (EBLV-2) Australian bat <i>Lyssavirus</i> (ABLV) Aravan virus (ARAV) Khujand virus (KHUV) Irkut virus (IRKV) Bokeloh bat <i>Lyssavirus</i> (BBLV)
Grupo II	Lagos bat virus (LBV) Mokola virus (MOKV) Shimoni bat virus (SHIBV)
Grupo III	West Caucasian bat virus (WCBV) Ikoma <i>Lyssavirus</i> (IKOV) Lleida bat <i>Lyssavirus</i> (LLEBV)
Virus aún sin clasificación	Gannoruwa bat <i>Lyssavirus</i> (GBLV) Kotalahti bat <i>Lyssavirus</i> (KBLV) Taiwan bat <i>Lyssavirus</i> (TWBLV)

Nota: Elaboración propia con base en Madhusudana et al. (2012), Hu et al. (2018), Nokireki et al. (2017) y Nokireki et al. (2018).

de adhesión CD 56 o el receptor de baja afinidad para el factor de crecimiento NTR75 (Singh et al., 2017) de la neurona. Aunque en un principio se creía que el RABV no tenía capacidad de replicarse en el músculo, actualmente sabemos que esta replicación es posible y puede darse en células musculares (Yamaoka et al., 2013).

Una vez unido a su receptor, el virus RABV es internalizado en la célula mediante endocitosis. En el interior de las neuronas, el RABV migra a través de los axones sensoriales por medio de un sistema de transporte retrógrado con una velocidad en humanos que va desde los 12 hasta los 100 mm/d.

A diferencia de otros virus, la patogenicidad de los de la rabia correlaciona inversamente con la cantidad de RNA producido, así como las partículas virales producidas (Pulmanusahakul, Li, Schnell, & Dietzschold, 2008). Al parecer una baja replicación viral aumenta la patogenicidad de los virus mediante la conservación de la estructura neurona, misma que usan para alcanzar el SNC y al mismo tiempo no ser detectados por el sistema inmunitario.

El periodo prodrómico puede durar entre dos y 10 días (Bernard, 1984). En este periodo, los pacientes presentan dolor o parestesias en la zona de la inoculación. Además, suelen presentar hipertermia, cefalalgia, náusea, vómito, agitación e irritabilidad, lo que pone de manifiesto la afección neurológica (Hankins & Rosekrans, 2004). A nivel neuronal, el RABV causa anomalías en varios neurotransmisores, como en serotonina, GABA y acetilcolina (Warrell & Warrell, 2004), además provoca disfunción de los canales sodio-potasio (Iwata, Komori, Unno, Minamoto, & Ohashi, 1999). Al mismo tiempo, el virus viaja a través de las vías parasimpáticas hacia las glándulas salivales y la piel (Jackson, 2007), sitios importantes para la transmisión de la enfermedad a otro huésped.

Conductualmente, el RABV provoca aumento de la cantidad de mordidas en los animales, así como hiperactividad, alucinaciones y convulsiones, efectos que pueden ser incrementados por estímulos de varios tipos ya sea visuales, auditivos o táctiles, tanto en humanos como en animales.

Un rasgo característico de la enfermedad es la hidrofobia y aerofobia. Esta condición se presenta debido a que los pacientes presentan espasmos de la laringe y faringe al ver agua o al pasar el aire

por su cara. La respiración también se ve afectada. En lugar de presentar una respiración rítmica, los pacientes tienen aleatoriamente movimientos inspiratorios.

Resolución de la enfermedad. El periodo neurológico agudo se extiende entre dos y siete días. El 99% de los pacientes que presentan la sintomatología neurológica de la rabia desencadenan en muerte. La misma puede deberse a afección respiratoria (Ross & Armentrout, 1962) o cardíaca (Maton, Pollard, & Davis, 1976). No obstante, la principal causa de los decesos es la parálisis difusa o simétrica, que se presenta en mayor medida en el área del inóculo. Puede presentarse muerte súbita o estado de coma. Alrededor del mundo solo tres casos han sido reportados como no fatales (Hattwick, Weis, Stechschulte, Baer, & Gregg, 1972); en estos casos los pacientes recibieron profilaxis pre exposición o posexposición antes del inicio de la fase neurológica.

Es posible erradicar la rabia

Para analizar el tema de la erradicación primero se establecerá cómo contrae la enfermedad la población. La rabia puede afectar a grupos de organismos, entre los que están los animales de sangre caliente. Los organismos infectados pueden transmitir la enfermedad a individuos de otras especies, a lo que se le denomina transmisión interespecífica o derrame (*spill-over*) (Oliveira Fahl et al., 2015; Rupprecht, Hanlon, & Hemachudha, 2002).

En 95% de los casos los seres humanos son infectados comúnmente por la mordedura de perros infectados (WHO, 2013), y la mayor prevención a nivel mundial se realiza haciendo frente a esta problemática mediante campañas de vacunación caninas a nivel mundial. Algo que se debe saber es que en algunos casos, la infección tiene lugar al contacto con murciélagos (Johnson et al., 2010). ¿Cuál es la situación de la rabia a nivel mundial?, con excepción de la Antártica, la rabia aqueja a todos los continentes (Oliveira Fahl et al., 2015; Rupprecht et al., 2008).

No obstante lo anterior, existen ciudades e incluso países que gracias a sus esfuerzos de prevención han logrado su erradicación. A continuación se proporciona una reseña de este panorama y los contratiempos que ha habido.

La Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) (2010, 2013, 2017) menciona

que una nación que no tenga un caso de rabia humana o animal en un periodo de dos años puede proclamar el estatus de libre de rabia. Finlandia fue declarada libre de rabia por la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) en 1991; sin embargo, se ha encontrado una tentativa nueva especie de *Lyssavirus* en este país (Nokireki et al., 2017), lo que de ser confirmado revertiría dicha declaratoria. A este respecto, los lugares que han alcanzado el estatus se mencionan a continuación.

África, Cabo Verde, Congo, Libia, Mauricio, Reunión y Seychelles están libres de rabia. En América, Antigua y Barbuda, Bahamas, Barbados,

Belice, Islas Malvinas, Jamaica, San Cristóbal y Nieves, Trinidad y Tobago, Uruguay. En Asia Bahrein, Chipre, Hong Kong, Japón, Malasia, Maldivas, Qatar, Singapur, Timor Oriental, el Archipiélago Laquedivas y las Islas Andamán y Nicobar de India. En Europa, Albania, Finlandia, Gibraltar, Grecia, Islandia, Isla de Man, Malta, Portugal, Reino de Noruega (excepto Svalbard), Reino Unido y España (excepto Melilla y Ceuta). En el grupo Oceanía islas como Fiji, Islas Cook, Vanuatu, Guam, Polinesia Francesa, Nueva Zelanda, Nueva Caledonia, Islas Salomón y Papúa Nueva Guinea también han obtenido el estatus de libre de rabia (tabla 2) (Singh et al., 2017; Yousaf et al., 2012).

Tabla 2
Países con estatus libre de rabia

África	Cabo Verde Congo Libia Mauricio Reunión Seychelles
América	Antigua y Barbuda Bahamas Barbados, Belice Islas Malvinas Jamaica San Cristóbal y Nieves Trinidad y Tobago Uruguay
Asia	Bahrein Chipre Hong Kong Japón Malasia Maldivas Qatar Singapur Timor Oriental El archipiélago Laquedivas y las Islas Andamán y Nicobar de India
Europa	Albania Finlandia Gibraltar Grecia Islandia Isla de Man Malta Portugal Reino de Noruega (excepto Svalbard) Reino Unido y España (excepto Melilla y Ceuta)
Oceanía	Islas Fiji Islas Cook Vanuatu Guam Polinesia Francesa Nueva Zelanda Nueva Caledonia Islas Salomón Papúa Nueva Guinea

Nota: Elaboración propia con base en Singh et al. (2017) y Yousaf et al. (2012).

No obstante haber alcanzado dicho estatus, el mismo puede perderse por situaciones como reintroducción a partir de naciones vecinas en individuos o animales infectados, provenientes de aquellas naciones en las que no se pongan en práctica de manera adecuada programas de vacunación de la fauna silvestre (Rose, 1999) y, por supuesto, de los animales de compañía (perros y gatos).

Un ejemplo se presentó en el Reino Unido, donde la rabia había sido proclamada erradicada en 1920 (Pounder, 2003); pero en 2002 un conservacionista de murciélagos contrajo rabia del tipo EBLV2, un tipo cuyo portador principal son murciélagos y al no recibir profilaxis posexposición falleció (Fooks et al., 2003), con lo cual el Reino Unido perdió el estatus.

Importancia de los murciélagos y su relación con la rabia

Los murciélagos pertenecen al orden Chiroptera, distribuido en prácticamente todo el planeta, a excepción de las regiones polares y oceánica (Oliveira Fahl et al., 2015). Los murciélagos viven en colonias que van desde algunos individuos a millares dependiendo de la especie. Junto con algunas de los órdenes Carnivora y Primates, las especies del orden Chiroptera juegan el rol más importante en el mantenimiento en circulación del virus de la rabia en la naturaleza (Velasco-Villa et al., 2017a).

Especies de murciélagos y alimentación. Existen en el mundo muchas especies de murciélagos y, asimismo, presentan preferencias alimenticias muy diversas, ya que pueden alimentarse, según la especie, de animales como peces, insectos, anfibios, pájaros y sangre, o de vegetales como frutos, hojas, semillas, flores, néctar y polen (Gardner, 1977).

Los hábitos hematófagos de algunas especies han generado mala reputación infundada de los murciélagos en general. Sin embargo, entre las muchas variedades del mundo solo tres especies pertenecientes a la familia Phyllostomidae, subfamilia Desmodotinae, son hematófagas. De estas tres especies, *Desmodus rotundus* es la más abundante (Greenhall, Joermann, & Schmidt, 1983). Este murciélago suele obtener la sangre a partir de cerdos, caballos y reses, y solo de manera esporádica la obtiene de humanos (Dos Reis, Peracchi, Pedro, & Lima, 2007).

Los murciélagos son imprescindibles para el ecosistema

Como ya se estableció solo una minoría de las especies de murciélagos son hematófagos. En contraposición, los murciélagos son responsables por la dispersión de semillas y la polinización de flores (Passos de Lima, dos Reis, Rodrigues Nogueira, & Filho, 2006). Esto se refleja en su extrema importancia en la reforestación de bosques (Whittaker & Jones, 1994). Por su parte, los insectívoros son los principales controladores naturales de plagas de artrópodos e insectos (Romano, Maidagan, & Pire, 1999), hecho que beneficia cuantiosamente a la producción agrícola mundial (figura 1). Otro papel de suma importancia que desempeñan los murciélagos es que, dada la gran diversidad de los murciélagos, así como de sus hábitos alimenticios, son indicadores de calidad ambiental.

En primera instancia se pensaba que solamente los murciélagos hematófagos representaban un problema de transmisión de la enfermedad, esta idea fue respaldada debido a que en zonas rurales los murciélagos hematófagos transmiten la rabia al ganado bovino, equino, caprino, ovino y porcino (Ivanete Kotait et al., 2007). Aun cuando dicha transmisión de la enfermedad representa una afección económica, así como de salud pública importante (Hanlon, Niezgodá, & Rupprecht, 2007), son las grandes pérdidas económicas por



Figura 1. *Lasiurus cinereus* Murciélago gris insectívoro. Los murciélagos insectívoros son los principales controladores naturales de plagas, lo que beneficia cuantiosamente a la producción agrícola mundial. No obstante, también pueden ser portadores y transmisores del virus de la rabia. Fotografía tomada por Martínez-Fonseca (2014).

el ganado infectado las que provocaron fijar la atención en los murciélagos hematófagos. Sin embargo, se han reportado casos de gatos y perros que han sido infectados con variantes de la rabia procedente de murciélagos no hematófagos. Esta condición puede deberse a que los murciélagos en general al ser especies pequeñas se vuelven presas de los animales de compañía, condición que puede incrementarse dado que los murciélagos que presentan la enfermedad tienen dificultades en el vuelo, lo que facilita su estado de presa y, por otro lado, algunos murciélagos enfermos presentan cambios en el comportamiento, lo que provoca ataques a animales, cuando de manera normal la especie podría no tener un comportamiento agresivo.

Desde hace algún tiempo se han analizado diversas especies de murciélagos y se han encontrado muchas no hematófagas que dan positivo a la presencia de virus de la rabia. Para 2010 eran 42 las especies conocidas de murciélagos infectadas con diferentes especies de virus de la rabia; en la actualidad se conocen más de 184 infectadas con el virus (Escobar, Townsend Peterson, Favi, Yung, & Medina-Vogel, 2015). Es cierto que no solo los murciélagos pueden ser infectados con los virus de la rabia, existen otros animales silvestres como zorrillos y zorros que pueden portar el virus. Los perros y murciélagos, tanto hematófagos como no hematófagos, son los principales transmisores de la enfermedad al ser humano (Oliveira Fahl et al., 2015).

Situación actual del combate de la rabia

En varios países alrededor del mundo la rabia ha sido declarada erradicada y en muchos otros se ha logrado el control de la transmisión en muy buenos niveles. Lo anterior se alcanza con los programas de vacunación antirrábica masiva de animales de compañía como perros y gatos adoptados en muchos países. México no es la excepción, el reporte "Situación de los casos de Rabia Canina" indica específicamente que "En México se destaca la eliminación de los casos de rabia humana de origen canino y la reducción significativa en los perros, ...", lo que lleva inmediatamente a pensar que existen otros orígenes de la rabia que continúan aquejando a la población (SSA, 2016).

En el mismo informe se menciona que esto es debido a la NOM-011-SSA2-2011 (SSA, 2011) para la prevención y control de la rabia humana y en los perros y gatos, lo que muestra que otras especies

infectadas y posibles transmisores de la rabia no han sido tratados con tanta atención o del todo.

Hacia la solución del problema

En 1885 Louis Pasteur fue el primer científico en desarrollar con éxito una vacuna contra la rabia. En la actualidad se emplean vacunas antirrábicas derivadas de cultivos celulares, en su mayoría a partir de células diploides humanas, diploides fetales de macaco de la India, Vero, primarias de embrión de pollo o huevos de pato embrionados. La manera de administración tanto a animales como humanos puede ser intramuscular o intradérmica (WHO, 2010). Para comprobar que la respuesta inmunológica del organismo ha sido exitosa, la OMS establece que se debe hacer un ensayo de los anticuerpos neutralizantes generados por el individuo vacunado y debe alcanzar un título mínimo de 0.5 IU/ml (WHO, 2013). En la actualidad, las vacunas se elaboran a partir del virus RABV, no obstante, se han realizado pruebas de protección cruzada con diferentes tipos de *Lyssavirus* y se ha encontrado que existen diferentes grados de protección (Horton et al., 2010; Liu et al., 2013; Malerczyk et al., 2014). En algunos casos como la especie *Mokola*, la protección cruzada con el resto de especies es inexistente.

Vacunar la fauna silvestre y erradicar de raíz la enfermedad

Desde 1960 se pensó en la vacunación de la fauna silvestre contra la rabia, por lo que se inició a probar la vacunación oral de carnívoros en la década de los 70. En las últimas décadas se han implementado programas para la vacunación del zorro rojo mediante la distribución de carnadas con la vacuna, lo que propició una enorme disminución de la rabia en Europa Oriental. Asimismo, se han implementado programas en EE. UU. enfocados en la vacunación de zorros grises (Velasco-Villa et al., 2017a), mapaches y coyotes, con resultados similares (Rupprecht, Hanlon, & Slate, 2004).

La vacunación de murciélagos representa otro reto, dado que no es muy factible colocar carnadas dirigidas específicamente a ellos, asimismo, la cantidad por colonia es muy elevada. Sin embargo, existen métodos de vacunación en aerosol que se han aplicado a la población humana y animal con éxito (Aerosol Vaccines for Tuberculosis Workshop Summary Group, 2015). Dado que la vacunación oral contra la rabia ha dado resultados positivos, la modalidad en aerosol representaría una vía de administración similar y, por tanto, es un método que

puede adoptarse para la vacunación masiva de especies, particularmente los murciélagos. De esta manera se podrá abordar de raíz la problemática de reincidencia de huéspedes infectados con rabia.

La vacunación en masa de murciélagos no ha sido nunca implementada, aunque se han publicado algunos estudios de vacunación a nivel experimental en ejemplares capturados y mantenidos en cautividad. Estos y otros estudios demuestran que la exposición de estos animales a RABV induce en muchos casos bajos o nulos títulos de anticuerpos. Aun así, se ha reportado que la vacunación de murciélagos por varias rutas de administración (tópica, oral e intramuscular) es capaz de proteger frente al desafío por el virus salvaje. Dado nuestro limitado conocimiento de la inmunología de los murciélagos en general y de la inmunidad frente a la rabia en particular, existe la necesidad en estos animales de definir correlatos de protección antes de emprender cualquier campaña de vacunación. La viabilidad de una vacunación en masa efectiva y escalable también ha de ser resuelta. Se necesitan, por tanto, estudios de campo y modelos epidemiológicos para determinar la cobertura mediante aerosolización, así como qué proporción de colonias debería ser tratada para reducir la circulación del virus en poblaciones de murciélagos (Fisher, Streicker, & Schnell, 2018).

DISCUSIÓN

La rabia es una enfermedad infectocontagiosa de alta prevalencia mundial (WHO, 2017). Resulta de particular interés su erradicación debido a que no posee cura una vez presentados los síntomas. En esta enfermedad, el paciente no solo pierde la vida, pasa por un proceso doloroso y estresante durante la progresión (Llamas López & Orozco Plascencia, 2009).

La erradicación de las enfermedades es un hecho factible. En 1980 la OMS confirmó la erradicación mundial de la primera enfermedad, la viruela, la única erradicada que afecta a humanos

(Aldunate, 2015); en el año 2011 se dio la erradicación de la peste bovina, que aqueja únicamente a animales (Organización Mundial de Sanidad Animal, 25 de mayo de 2010).

Con respecto a la rabia varios países han alcanzado la erradicación (Singh et al., 2017) y muchas otras están próximas a conseguirlo (WHO, 2017). No obstante, a la fecha este estatus de erradicación no es definitivo y en cualquier momento puede verse vulnerado por fallos en la contención de la enfermedad (Velasco-Villa et al., 2017a). Uno de los escenarios que escapan del alcance de las autoridades es la transmisión a partir de la fauna silvestre (Velasco-Villa et al., 2017b). Resulta de vital importancia preservar esta fauna, ya que su abatimiento generaría problemas mucho mayores del que se pretende erradicar (WHO, 2017; Zárate-Martínez, Serrato Díaz, & López-Wilchis, 2012). Un sector de la fauna silvestre que no ha recibido suficiente atención en cuanto a prevención de la afección estudiada son los murciélagos, lo anterior puede deberse a tratarse de una población de difícil acceso y manipulación, no obstante, se ha demostrado con éxito que existen programas que pueden seguirse para la vacunación de esta población, como lo es la vacunación mediante aerosoles. Dado lo antes descrito en este artículo, para alcanzar el objetivo mundial en erradicación de la rabia es preciso implementar con éxito campañas de vacunación en la población de estos quirópteros.

CONCLUSIONES

La rabia es una enfermedad mortal que tiene como principal factor de riesgo la transmisión interespecífica, puesto que todos los mamíferos pueden contraerla y transmitirla. Pese a los esfuerzos mundiales de vacunación de los animales de compañía, el estatus de erradicación no ha sido alcanzado. Lo anterior puede superarse mediante la vacunación de fauna silvestre, pero es preciso abarcar a todas las especies para una erradicación definitiva a nivel mundial.

REFERENCIAS

- Aerosol Vaccines for Tuberculosis Workshop Summary Group. (2015). Developing aerosol vaccines for Mycobacterium tuberculosis: Workshop Proceedings: National Institute of Allergy and Infectious Diseases, Bethesda, Maryland, USA, April 9, 2014. *Vaccine*, 33(26), 3038-3046. doi: 10.1016/j.vaccine.2015.03.060
- Aldunate, F. (2015). La erradicación de enfermedades en el mundo, es posible gracias a la inmunización. *Boletín de Farmacovigilancia Vacunas*, sección Ten Presente, 1.
- Bernard, K. W. (1984). Clinical rabies in humans. En W. G. Winkler (Ed.), *Rabies concepts for medical professionals*. Miami, FL, US: Merieux Institute.
- Dos Reis, N. R., Peracchi, A. L., Pedro, W. A., & Lima, I. P. (Eds.). (2007). *Morcegos do Brasil*. Londrina, Brasil: Universidade Estadual de Londrina.
- Escobar, L. E., Townsend Peterson, A., Favi, M., Yung, V., & Medina-Vogel, G. (2015). Bat-borne rabies in Latin America. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 57(1), 63-72. doi: 10.1590/S0036-46652015000100009
- Fisher, C. R., Streicker, D. G., & Schnell, M. J. (2018). The spread and evolution of rabies virus: Conquering new frontiers. *Nature Reviews Microbiology*, 16(4), 241-255.
- Fooks, A. R., McElhinney, L. M., Pounder, D. J., Finnegan, C. J., Mansfield, K., Johnson, N., . . . Nathwani, D. (2003). Case report: Isolation of a European bat lyssavirus type 2a from a fatal human case of rabies encephalitis. *Journal of Medical Virology*, 71(2), 281-289. doi:10.1002/jmv.10481
- Gardner, A. L. (1977). *Feeding habits* (II). Lubbock, US: Texas Tech Press.
- Greenhall, A. M., Joermann, G., & Schmidt, U. (1983). *Desmodus rotundus*. *Mammalian Species*, 202, 1-6.
- Hankins, D. G., & Rosekrans, J. A. (2004). Overview, prevention, and treatment of rabies. *Mayo Clinic Proceedings*, 79(5), 671-676. doi: 10.1016/S0025-6196(11)62291-X
- Hanlon, C. A., Niezgodna, M., & Rupprecht, C. E. (2007). Rabies in terrestrial animals En *Rabies* (2a. ed., pp. 201-258). San Diego, US: Academic Press.
- Hattwick, M. A., Weis, T. T., Stechschulte, C. J., Baer, G. M., & Gregg, M. B. (1972). Recovery from rabies. A case report. *Annals of Internal Medicine*, 76(6), 931-942.
- Horton, D. L., McElhinney, L. M., Marston, D. A., Wood, J. L., Russell, C. A., Lewis, N., . . . Smith, D. J. (2010). Quantifying antigenic relationships among the lyssaviruses. *Journal of Virology*, 84(22), 11841-11848. doi:10.1128/JVI.01153-10
- Hu, S. C., Hsu, C. L., Lee, M. S., Tu, Y. C., Chang, J. C., Wu, C. H., . . . Hsu, W. C. (2018). Lyssavirus in Japanese Pipistrelle, Taiwan. *Emerging Infectious Diseases*, 24(4), 782-785. doi:10.3201/eid2404.171696
- Iwata, M., Komori, S., Unno, T., Minamoto, N., & Ohashi, H. (1999). Modification of membrane currents in mouse neuroblastoma cells following infection with rabies virus. *British Journal of Pharmacology*, 126(8), 1691-1698. doi:10.1038/sj.bjp.0702473
- Jackson, A. C. (2007). Pathogenesis. En W. W. Jackson & W. H. Wunner (Eds.), *Rabies* (2a. ed., pp. 341-381). San Diego: Academic Press.
- Johnson, N., Vos, A., Freuling, C., Tordo, N., Fooks, A. R., & Muller, T. (2010). Human rabies due to lyssavirus infection of bat origin. *Veterinary Microbiology*, 142(3-4), 151-159. doi:10.1016/j.vetmic.2010.02.001
- Kotait, I., Carrieri, M. L., Carnieli, P., Galera Castilho, J., de Novaes Oliveira, R., Macedo, C. I., . . . Achkar, S. M. (2007). Wildlife reservoirs of rabies virus: A new challenge to a public health. *Boletim Epidemiológico Paulista*, 4(40), 2-8.
- Liu, Y., Chen, Q., Zhang, F., Zhang, S., Li, N., Lian, H., . . . Hu, R. (2013). Evaluation of rabies biologics against Irkut virus isolated in China. *Journal of Clinical Microbiology*, 51(11), 3499-3504. doi:10.1128/JCM.01565-13
- Llamas López, L., & Orozco Plascencia, E. (2009). Rabia: Infección viral del sistema nervioso central. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 10(3), 212-219.
- Madhusudana, S. N., Subha, S., Thankappan, U., & Ashwin, Y. B. (2012). Evaluation of a direct rapid immunohistochemical test (dRIT) for rapid diagnosis of rabies in animals and humans. *Virologica Sinica*, 27(5), 299-302. doi: 10.1007/s12250-012-3265-6
- Malerczyk, C., Freuling, C., Gniel, D., Giesen, A., Selhorst, T., & Muller, T. (2014). Cross-neutralization of antibodies induced by vaccination with Purified Chick Embryo Cell Vaccine (PCECV) against different Lyssavirus species. *Human Vaccines and Immunotherapeutics*, 10(10), 2799-2804. doi: 10.4161/21645515.2014.972741
- Martínez-Fonseca, J. G. (2014). *Lasiurus cinereus*. Murciélago gris [Fotografía]. En *Murciélagos de la región metropolitana de Santiago, Chile* (p. 31, 51 pp.). Chile: Seremi del Medio Ambiente Región Metropolitana de Santiago-Universidad Santo Tomás-Programa para la Conservación de los Murciélagos de Chile (PCMCh).
- Maton, P. N., Pollard, J. D., & Davis, J. N. (1976). Human rabies encephalomyelitis. *British Medical Journal*, 1(6017), 1038-1040.
- Nokireki, T., Jakava-Viljanen, M., Virtala, A. M., & Sihvonen, L. (2017). Efficacy of rabies vaccines in dogs and cats and protection in a mouse model against European bat lyssavirus type 2. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 59(1), 64. doi: 10.1186/s13028-017-0332-x

- Nokireki, T., Tammiranta, M., Kokkonen, U.-M., Kantala, T., & Gadd, T. (2018). Tentative novel lyssavirus in a bat in Finland. *Transboundary and Emerging Diseases*, 65(3), 593-596. doi: 10.1111/tbed.12833
- Oliveira Fahl, W., Estevez García, A. I., Achkar, S. M., Mori, E., Asano, K. M., Iamamoto, K., & Correa Ssheffer, K. (2015). Rabia transmitida por murciélagos en Brasil. *Acta Biológica Colombiana*, 20(3), 21-35. doi: 10.15446/abc.v20n3.45481
- Organización Mundial de Sanidad Animal. (25 de mayo de 2010). La peste bovina no matará más [Comunicado de prensa]. Recuperado de <http://www.oie.int/es/para-los-periodistas/comunicados-de-prensa/detalle/article/no-more-deaths-from-rinderpest/>
- Passos de Lima, I., dos Reis, N. R., Rodrigues Nogueira, M., & Filho, H. O. (2006). Capítulo 7. Orden Chiroptera. En N. R. Reis, A. L. Peracchi, W. A. Pedro, & I. P. Lima (Eds.), *Mamíferos do Brasil* (pp. 153-230). Londrina: Universidade Estadual de Londrina.
- Pounder, D. (2003). Bat rabies. *BMJ*, 326(7392), 726. doi:10.1136/bmj.326.7392.726
- Pulmanusahakul, R., Li, J., Schnell, M. J., & Dietzschold, B. (2008). The glycoprotein and the matrix protein of rabies virus affect pathogenicity by regulating viral replication and facilitating cell-to-cell spread. *Journal of Virology*, 82(5), 2330-2338. doi: 10.1128/JVI.02327-07
- Romano, M. C., Maidagan, J. I., & Pire, E. F. (1999). Behaviour and demography in urban colony of *Tadarida brasiliensis* (Chiroptera, Molossidae) in Rosario, Argentina. *Revista de Biología Tropical*, 47(4), 1121-1127.
- Rose, V. L. (1999). CDC issues revised guidelines for the prevention of human rabies. *American Family Physician*, 59(7), 2007-2008, 2013-2014.
- Ross, E., & Armentrout, S. A. (1962). Myocarditis associated with rabies. Report of a case. *The New England Journal of Medicine*, 266, 1087-1089. doi: 10.1056/NEJM196205242662105
- Rupprecht, C. E., Barrett, J., Briggs, D., Cliquet, F., Fooks, A. R., Lumlerdacha, B.,... Wandeler, A. I. (2008). Can rabies be eradicated? *Development in Biological (Basel)*, 131, 95-121.
- Rupprecht, C. E., Hanlon, C. A., & Hemachudha, T. (2002). Rabies re-examined. *The Lancet Infectious Diseases*, 2(6), 327-343.
- Rupprecht, C. E., Hanlon, C. A., & Slate, D. (2004). Oral vaccination of wildlife against rabies: Opportunities and challenges in prevention and control. *Developments in Biologicals (Basel)*, 119, 173-184.
- Rupprecht, C. E., Stöhr, K., & Meredith, C. (2001). Chapter 1. Rabies. En E. S. Williams & I. K. Barker (Eds.), *Infectious disease of wild mammals* (pp. 3-36). Iowa: Iowa State University Press.
- Secretaría de Salud. (2011). Norma Oficial Mexicana NOM-011-SSA2-2011. *Diario Oficial de la Federación*, 8 de diciembre de 2011.
- _____ (2016). Situación de los casos de rabia canina. Rabia canina en México [Base de datos]. Recuperada de <https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/situacion-de-los-casos-de-rabia-canina>
- Singh, R., Singh, K. P., Cherian, S., Saminathan, M., Kapoor, S., Manjunatha Reddy, G. B.,... Dhama, K. (2017). Rabies-epidemiology, pathogenesis, public health concerns and advances in diagnosis and control: A comprehensive review. *Veterinary Quarterly*, 37(1), 212-251. doi: 10.1080/01652176.2017.1343516
- Velasco-Villa A., Escobar, L. E., Sánchez, A., Shi, M., Streicker, D. G., Gallardo-Romero, N. F.,...Emerson, G. (2017a). Successful strategies implemented towards the elimination of canine rabies in the Western Hemisphere. *Antiviral Research*, 143, 1-12. doi: 10.1016/j.antiviral.2017.03.023
- Velasco-Villa, A., Mauldin, M. R., Shi, M., Escobar, L. E., Gallardo-Romero, N. F., Damon, I.,...Emerson, G. (2017b). The history of rabies in the Western Hemisphere. *Antiviral Research*, 146, 221-232. doi: 10.1016/j.antiviral.2017.03.013
- Warrell, M. J., & Warrell, D. A. (2004). Rabies and other lyssavirus diseases. *The Lancet*, 363(9413), 959-969. doi: 10.1016/S0140-6736(04)15792-9
- Whittaker, R. J., & Jones, S. H. (1994). The role of frugivorous bats and birds in the rebuilding of a tropical forest ecosystem, Krakatau, Indonesia. *Journal of Biogeography*, 21(3), 245-258. doi: 10.2307/2845528
- World Health Organization. (2010). Updated WHO position paper on rabies vaccines [Documento en pdf]. Recuperado de http://www.who.int/immunization/Rabies_slides_Aug_2010.pdf
- _____ (2013). WHO expert consultation on rabies. Second Report. En *WHO Technical Report Series*. Switzerland: Autor. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/85346/1/9789240690943_eng.pdf
- _____ (2017). 10 datos sobre la rabia [Serie de diapositivas]. Recuperada de <http://www.who.int/features/factfiles/rabies/es/>
- Yamaoka, S., Ito, N., Ohka, S., Kaneda, S., Nakamura, H., Agari, T.,...Sugiyama, M. (2013). Involvement of the rabies virus phosphoprotein gene in neuroinvasiveness. *Journal of Virology*, 12327-12338.
- Yousaf, M. Z., Qasim, M., Zia, S., Khan, M. R., Ashfaq, U. A., & Khan, S. (2012). Rabies molecular virology, diagnosis, prevention and treatment. *Virology Journal*, 9, 50. doi: 10.1186/1743-422X-9-50
- Zárata-Martínez, D. G., Serrato Díaz, A., & López-Wilchis, R. (2012). Importancia ecológica de los murciélagos. *Contacto S*, 85, 19-27.

Roberto Muñoz Guerrero. *In memoriam*

Ivonne Bazán-Trujillo*✉, Lorenzo Leija-Salas**

Bazán-Trujillo, I., & Leija-Salas, L. (2019). Roberto Muñoz Guerrero. *In memoriam* [Obituario]. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 89-90.

Nacido en la Ciudad de México el 23 de mayo de 1960. Realizó los estudios de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional (ESIME-IPN) y se tituló en el mes de septiembre de 1983. Posteriormente realizó sus estudios de posgrado, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias (Especialidad Bioelectrónica, Sección Bioelectrónica, Departamento de Farmacología y Toxicología) el 8 de diciembre de 1986, y el grado de Doctor en Ciencias (Especialidad Ingeniería Eléctrica, Sección Bioelectrónica, Departamento de Ingeniería Eléctrica) el 21 de enero de 1999; ambos grados en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV-IPN).

El Dr. Roberto Muñoz comenzó a laborar en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV IPN en mayo de 1990, y continuó desarrollando su carrera como investigador en esta institución hasta su fallecimiento, el 22 de febrero de 2019. El Dr. Muñoz logró importantes reconocimientos a lo largo de su trayectoria, como pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) en el Nivel I y II y ser miembro de la Academia Mexicana de Ciencias. Sus áreas de investigación estuvieron centradas en temas de ingeniería de la rehabilitación, control mioeléctrico de prótesis, procesamiento de bioseñales y sistemas miméticos, lenguas artificiales y la aplicación de la IA en la discriminación de biosensores. Fue generador y director de proyectos de investigación sumamente innovadores, como por ejemplo: el diseño de una prótesis que interpretara señales del cerebro, el cual



Dr. Roberto Muñoz Guerrero. Fotografía recuperada del portal electrónico de *Milenio Digital* (12 de febrero de 2014).

inició alrededor del año 2014. "Queremos saber si existe este patrón de memoria que implica que la persona amputada recuerde cómo se movía (su brazo) y así traducirlo a una señal de comando de control para la prótesis" (Dr. Roberto Muñoz Guerrero para *Milenio Digital*, 12 de febrero de 2014, párr. 2)

[...]

en lugar de utilizar la señal eléctrica de los músculos remanentes, tratamos de identificar los patrones de movimiento a partir de la señal eléctrica del cerebro. Si esto resulta, el amputado ya no tendría que contraer sus músculos y será capaz de controlar la prótesis imaginando los movimientos. (Dr. Roberto Muñoz Guerrero para *Milenio Digital*, 12 de febrero de 2014, párr. 4)

Su destacada labor quedó plasmada en la publicación de más de 40 artículos científicos, 12 capítulos de libro e innumerables participaciones

* Departamento de Ingeniería Biomédica, Centro de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad 940, Ciudad Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Correo electrónico: ivonne.bazan@edu.uaa.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8654-8426>

* Sección Bioelectrónica, Departamento de Ingeniería Eléctrica, CINVESTAV-IPN. Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, San Pedro Zacatenco, C. P. 07360, Ciudad de México, México. Correo electrónico: lleija@cinvestav.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8437-6520>

✉ Autor para correspondencia

en congresos internacionales. Formó parte de múltiples redes internacionales, donde colaboró con grupos de investigación, principalmente europeos y latinoamericanos. Fue cogenerador de dos patentes nacionales relacionadas con el área de rehabilitación y dispositivos protésicos, así como de diversos desarrollos tecnológicos. Fue editor en jefe de la *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica* durante el periodo comprendido desde 2005 hasta 2009, miembro del Consejo Editorial de la revista *Avance y Perspectiva* del CINVESTAV de 2015 a 2017 y miembro de la COPEI del CINVESTAV.

Tuvo una importante contribución en la formación de recursos humanos. Impartió cursos a nivel posgrado en las áreas de procesamiento digital de bioseñales, instrumentación, inteligencia artificial, biosensores y sistemas de inspiración biológica. Fue director de 10 tesis de doctorado, 32 de maestría y 16 de licenciatura. Sus estudiantes

están diseminados en universidades y centros de investigación en el país, continuando el desarrollo de sus líneas de investigación y la formación de recursos humanos.

Amigos, colegas y estudiantes lo recordamos como un gran amigo, alegre y sencillo; siempre existió una frase amable e incluso una broma ingeniosa cuando uno se encontraba con él. En su labor científica se le consideró siempre muy profesional, excelente profesor y entregado a su trabajo. Sin embargo, lo más significativo para todos los que lo estimamos es que en todos nosotros dejó una huella imborrable. Gracias, Dr. Robert.

REFERENCIAS

- *Milenio Digital* (12 de febrero de 2014). Diseñan prótesis que interpreta señales del cerebro [Artículo y fotografía ilustrativa]. Recuperado de <https://www.milenio.com/estilo/disenan-protesis-que-interpreta-senales-del-cerebro>

Sentido y gramática en español

Bogard, S. (Ed.). (2018). *Sentido y gramática en español* (299 páginas, ISBN: 978-607-628-2793). Ciudad de México: El Colegio de México.

Blanca Elena Sanz-Martin*✉

Sanz-Martin, B. E. (2019). *Sentido y gramática en español* [Reseña de libro]. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 91-92.

La lingüística funcional aboga por la interacción entre forma y sentido, de manera que el análisis gramatical no puede despojarse del componente semántico. Desde esta perspectiva, el libro *Sentido y gramática del español*, editado por Sergio Bogard, explica el funcionamiento de diversos fenómenos del español vinculados con la estructura argumental de la oración y otros fenómenos sintácticos.

El libro, publicado en 2018 por el Colegio de México, se encuentra integrado por 10 capítulos de la autoría de investigadores de distintas universidades de México: El Colegio de México, la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad Autónoma de Aguascalientes, la Universidad Autónoma de Querétaro, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y el Centro Yucatán del Instituto Nacional de Antropología e Historia. A continuación se detalla el título de cada uno.

- I. Argumentos y adjuntos verbales en sustantivos asociados con un valor semántico de predicado
- II. La dimensión espacial del español: la propiedad adjetival y la distinción entre lo físico y lo concreto
- III. Modificadores adverbiales

* Departamento de Letras, Centro de las Artes y la Cultura, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad 940, Ciudad Universitaria, C. P. 20131, Aguascalientes, Ags., México. Correo electrónico: besanz@correo.uaa.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0758-8746>

✉ Autor para correspondencia



Portada del libro *Sentido y gramática en español*.

- IV. La interacción entre causante y causado en los predicados causativos del tipo *convencer* y su correlato semántico-sintáctico.
- V. Estructura conceptual y argumental de los verbos de movimiento y penetración
- VI. Caracterización semántico-sintáctica del verbo *suspirar*
- VII. ¿Me veo cansada? Los usos pronominales del verbo *ver* en contextos de predicación secundaria
- VIII. *Dar con hallazgos fortuitos*. Análisis construccional
- IX. Análisis discursivo-pragmático de las oraciones hendidas con *lo que*
- X. Complejidad sintáctica de las expresiones de estados mentales: análisis basado en un corpus de narraciones infantiles

Los capítulos se caracterizan por presentar una base fuertemente empírica, pues los objetos de estudio se basan en datos provenientes de fuentes orales o escritas, lo cual es congruente con la perspectiva funcional, que considera la lengua como un instrumento de comunicación cuyo análisis exige su uso real, en contexto, a diferencia de otros modelos de análisis de corte más formal o estructural.

El objeto de estudio del primer capítulo del libro son los sustantivos con un valor semántico de predicado, los cuales se caracterizan por la posibilidad de presentar adjuntos típicamente verbales.

El segundo capítulo analiza las formas *cerca* y *lejos*, así como las expresiones *fuera-afuera*, *dentro-adentro*, a partir de lo cual se sostiene la tesis de que en la dimensión espacial del español son relevantes el carácter adjetival del espacio y la distinción entre lo físico y lo abstracto.

El tercer capítulo cuestiona la noción tradicional de adverbio que se caracteriza por ser demasiado abarcadora y propone una definición más precisa que sostiene que el adverbio no puede modificar a otro, sino que más bien lo cuantifica, enfatiza, ancla, focaliza o proporciona un significado aspectual télico.

El objeto de estudio del cuarto capítulo consiste en los verbos causativos *convencer*, *persuadir*, *disuadir*, *animar*, *incitar* e *indicar*, los cuales pertenecen a la clase de los verbos causativos y tienen en común el hecho de que expresan una entidad que intenta influir sobre otra. El trabajo propone que el grado de mediación de fuerza en la generación del convencimiento origina distintos matices semánticos que tienen un correlato sintáctico.

El quinto capítulo identifica la naturaleza semántica de los verbos de movimiento y penetración que formaliza a esta clase, para lo cual analiza su estructura argumental.

El sexto capítulo se centra en el verbo de actividad corporal *suspirar* y se analiza el tipo de evento que subyace al verbo, el valor semántico de sus participantes y el tipo de construcciones sintácticas que formalizan su significado.

El objeto de estudio del sexto capítulo son las construcciones conformadas por el verbo *ver* en su forma pronominal y un predicado secundario. El capítulo sostiene que las construcciones conservan rasgos básicos del sentido de percepción del verbo, pero además incorporan rasgos semánticos de modalidad epistémica.

El octavo capítulo analiza tres construcciones conformadas con el verbo *dar* y plantea que en ellas no se preserva del todo el significado básico de transferencia, pero se mantiene la noción de trayectoria.

El objeto de estudio del noveno capítulo es el relativo *lo que*, el cual es analizado como nexo subordinante, como función sintáctica y como elemento de valor anafórico. El trabajo analiza el proceso mediante el cual las oraciones hendidas con ese relativo pasan de realizar una función a nivel intraoracional a una función pragmático-discursiva.

El último capítulo analiza la complejidad sintáctica en un corpus de cuentos elaborados por jóvenes y niños. Sostiene la tesis, a partir del marco teórico de la Teoría de la Mente, de que el dominio de la complejidad sintáctica se vincula con la posibilidad de expresar diversos estados mentales de los personajes.

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 (enero-abril, mayo-agosto, septiembre-diciembre).

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 a título gratuito a la revista los derechos de edición, reproducción, distribución y comunicación pública en el país y en el extranjero por medios impresos, electrónicos, óptico u otra tecnología incluyendo internet. Asimismo, aceptan que el trabajo que se presenta sea distribuido en acceso abierto, resguardando los derechos de autor bajo una licencia "Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional" (CC BY NC-SA).

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 original e 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, correo electrónico y número de ORCID. 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) 6^{ta.} 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* (0^{a.} ed.). Ciudad: Editorial.

Formato de libro con dos autores:

Apellido1 Apellido2 de Autor1, X., & Apellido1 Apellido2 de Autor2, Y. (Año). *Título de libro* (0^{a.} 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* (0^{a.} 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.xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx0xxxx0xxx00000>

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.xxxxxxxxx

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>

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 xxxx]. 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(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, correo electrónico y No. ORCID. Indicar quién es el autor para correspondencia; 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(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, correo electrónico y No. ORCID. Indicar quién es el autor para correspondencia; 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, señalando 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, los datos del autor (nombre completo), adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución, correo electrónico y No. ORCID, así como, 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 los datos del autor (nombre completo), adscripción (departamento, dependencia e institución, país), domicilio de la institución, correo electrónico y No. ORCID; 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 dictamen se llevará a cabo siguiendo un orden, de acuerdo con la fecha de recepción. El tiempo estimado del proceso de evaluación y aceptación es de 6 meses.
3. La revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, utiliza el software TURNITIN para detectar coincidencias y similitudes entre los textos sometidos a evaluación en la revista y los publicados previamente en otras fuentes. Los resultados son enviados al autor.
4. Todos los trabajos son sometidos a un proceso de dictamen por pares académicos (especialistas) a 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 dicta-

- men 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 Word 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.
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 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

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
investigacion.uaa.mx/Revistaiyc

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.