

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 25
ENERO-ABRIL 2017

70

EDICIÓN CUATRIMESTRAL
ISSN: 1665-4412



▲ Análisis de un sistema de información geográfica para la interpretación de cartas de campo magnético y geológico del semidesierto de Zacatecas

▲ Calidad de agua en términos físico-químico-metales en tres sitios contrastantes del río Conchos en Chihuahua, México

▲ Uso de sondeos electromagnéticos en la caracterización hidrológica del acuífero del altiplano de Tula, Tamaulipas

▲ Influencia del magnesio y zinc en la altura de planta y verdor de hojas en *Lilium*

▲ Efecto de la bupivacaína versus bupivacaína más dexmedetomidina intratecal sobre el dolor posquirúrgico

▲ Análisis de protección para casco de ciclista sometido a impacto virtual por método de elemento finito

▲ TIC y la gestión del conocimiento como elementos determinantes del crecimiento de la PyME

▲ Efecto de los factores de innovación en el desempeño económico de los talleres artesanales de la zona metropolitana de Zacatecas

▲ Origen y evolución de las actividades y disciplinas deportivas en Aguascalientes en el siglo XX

▲ Voto electrónico: confiabilidad y utilización de tecnología

▲ Vegetación de Sierra Rica: el papel de la biogeografía en la formación de las comunidades vegetales en Manuel Benavides, Chihuahua, México

▲ Energías renovables y el hidrógeno: un par prometedor en la transición energética de México

▲ Cinna Lomnitz Aronsfrau. *In memoriam*

▲ *Biomarkers in Toxicology* [Biomarcadores en Toxicología]. 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 25, núm. 70, periodo enero-abril 2017, 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., Tel./Fax. 449 9 10 74 42, www.uaa.mx/investigacion/revista, revistaiyc@correo.uaa.mx. Editor responsable: Guadalupe Ruiz Cuéllar. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2002-042412342500-102, ISSN: 1665-4412. Número de Certificado de Licitud de Título: 12284, Número de Certificado de Licitud de Contenido: 8497, ambos otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Registro Postal en SEPOMEX No. PP01-0003. Diseñada e impresa en el Departamento de Procesos Gráficos de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Av. Universidad No. 940, Ciudad Universitaria, C.P. 20131, Aguascalientes, Ags. Este número se terminó de imprimir el 30 de abril de 2017 con un tiraje de 1,000 ejemplares.

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

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Precio por ejemplar \$60.00 (pesos). Costo por suscripción anual \$160.00 (pesos).

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

ÍNDICES:

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

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

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

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

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

PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias), <http://www.dgb.unam.mx/periodica.html>

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:

- La sierra en Concepción del Oro, Zacatecas, México • Bloqueo intratecal. Paciente en decúbito lateral izquierdo • Se estudia la influencia del Mg y el Zn en características de *Lilium* • En el estudio realizado se encontró que el agua es apropiada, en general, para el florecimiento de la vida acuática y del ecosistema en su conjunto • Diseño propuesto • Artesano de la rama textil del municipio de Guadalupe • Foto oficial novena de béisbol Águila, 1930 • *Agave lechuguilla* como nodriza de *Mammillaria heyderi*

DIRECTORIO

Dr. en C. Francisco Javier Avelar González
Rector

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CONSEJO EDITORIAL

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

COMITÉ EDITORIAL

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

CONTENIDO

INVESTIGACIÓN

Pág.

CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

- **Análisis de un sistema de información geográfica para la interpretación de cartas de campo magnético y geológico del semidesierto de Zacatecas** 5-12
Interpretation of magnetic field and geological charts of the semidesert of Zacatecas

Héctor Miguel Casas Flores

- **Calidad de agua en términos físico-químico-metales en tres sitios contrastantes del río Conchos en Chihuahua, México** 13-22
Water quality using physical-chemical and metal parameters in three contrasting locations of the Conchos river in Chihuahua, Mexico

Héctor Rubio Arias
Jesús Manuel Ochoa Rivero
Roberto Carlos Ortiz Delgado
Rey Manuel Quintana
Rubén Alfonso Saucedo Terán
María de Lourdes Villalba

- **Uso de sondeos electromagnéticos en la caracterización hidrológica del acuífero del altiplano de Tula, Tamaulipas** 23-30
The use of electromagnetic soundings for the hydrological characterization of the aquifer of the highlands of Tula, Tamaulipas

Óscar Guevara Mansilla
René Ventura Houle
Elizabeth del Carmen Andrade Limas

- **Influencia del magnesio y zinc en la altura de planta y verdor de hojas en *Lilium*** 31-37
*Influence of magnesium and zinc in plant height and leaf greenness in *Lilium**

María del Rosario Reyes Alemán
Omar Franco Mora
Edgar Jesús Morales Rosales
Delfina de Jesús Pérez López

- **Efecto de la bupivacaína versus bupivacaína más dexmedetomidina intratecal sobre el dolor posquirúrgico** 38-43
Effect of bupivacaine versus bupivacaine plus intrathecal dexmedetomidine in postoperative pain

Crystell Guadalupe Guzmán Priego
Jorge Elías Torres López
Adriana Margarita Beltrán Jesús
Guadalupe del Carmen Baeza Flores

INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS

- **Análisis de protección para casco de ciclista sometido a impacto virtual por método de elemento finito** 44-49
Protection analysis for cyclist helmet under virtual impact by finite element method

Eddie Nahúm Armendáriz Mireles
José Adalberto Castillo Robles
Marco Antonio López Gutiérrez
Enrique Rocha Rangel

CONTENIDO

CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

- **TIC y la gestión del conocimiento como elementos determinantes del crecimiento de la PyME** 50-62
ICT and knowledge management determining elements in the growth of SME

Luis Enrique Valdez Juárez
Domingo García Pérez de Lema
Gonzalo Maldonado Guzmán

- **Efecto de los factores de innovación en el desempeño económico de los talleres artesanales de la zona metropolitana de Zacatecas** 63-68
The effect of the factors of innovation in the economic performance of the craft workshops of the metropolitan area of Zacatecas

Luis Ángel Correa García
Roberto González Acolt

CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

- **Origen y evolución de las actividades y disciplinas deportivas en Aguascalientes en el siglo XX** 69-76
The origin and evolution of activities and sports disciplines that were practiced in the twentieth century in Aguascalientes

Víctor Moreno Ramos
Gabriela Hernández Zapata
Sara Elizabeth Flores Fernández

- **Voto electrónico: confiabilidad y utilización de tecnología** 77-83
Electronic voting: reliability and implementation of technology

Alma Lilia Sapién Aguilar
María del Carmen Gutiérrez Díez
Laura Cristina Piñón Howlet

REVISIÓN CIENTÍFICA

- **Vegetación de Sierra Rica: el papel de la biogeografía en la formación de las comunidades vegetales en Manuel Benavides, Chihuahua, México** 84-91
Vegetation of Sierra Rica: the role of biogeography in the formation of plant communities in Manuel Benavides, Chihuahua, Mexico

Alicia Juárez Pérez
Alicia Melgoza
Jesús A. Fernández

- **Energías renovables y el hidrógeno: un par prometedor en la transición energética de México** 92-101
Renewable energies and hydrogen: a promising couple in the energy transition of Mexico

Alejandra Cecilia Morales Ramos
Marisela Pérez Figueroa
Jorge Raúl Pérez Gallardo
Sofía De León Almaraz

OBITUARIO

- **Cinna Lomnitz Aronsfrau. In memoriam** 102-105

Arturo Iglesias Mendoza

RESEÑA

- **Biomarkers in Toxicology [Biomarcadores en Toxicología]** 106-107

Raúl Ortiz Martínez

Análisis de un sistema de información geográfica para la interpretación de cartas de campo magnético y geológico del semidesierto de Zacatecas

Interpretation of magnetic field and geological charts of the semidesert of Zacatecas

Héctor Miguel Casas Flores^{1*}

Casas Flores, H. M. Análisis de un sistema de información geográfica para la interpretación de cartas de campo magnético y geológico del semidesierto de Zacatecas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 5-12, enero-abril 2017.

RESUMEN

El semidesierto de Zacatecas ha sido un gran impulsor del desarrollo económico que se ha sostenido a nivel industrial debido a la cantidad, calidad y cotización de minerales que se encuentran dentro de las 13 imponentes formaciones litológicas del estado. La región de estudio abarca aproximadamente 3,744 km² y se caracteriza por tener rocas de composición basáltica, riolítica, rocas intrusivas como granodioritas, monzonitas de la Era Cenozoica (Terciaria) y también rocas metamórficas caracterizadas por el tipo de metamorfismo de contacto de grado medio a bajo.

El análisis de multivariantes fue utilizado para construir diagramas jerárquicos (dendrogramas) y mapas de similitudes. Los principales puntos magnéticos de alta susceptibilidad magnética lo obtienen las formaciones de la Era Cuaternaria, Terciaria, Cretácica Temprana y Jurásica Tardía, lo que implica que sobre estas capas de roca y en

Palabras clave: formación litológica, metamorfismo de contacto, análisis multivariado, diagramas jerárquicos, susceptibilidad magnética, estructuras minerales.

Keywords: lithological formation, multivariate analysis, hierarchical diagrams, magnetic susceptibility, mineral structures.

Recibido: 25 de junio de 2015, aceptado: 21 de marzo de 2016

¹ Maestría en Ingeniería Aplicada con Orientación en Recursos Hidráulicos, Universidad Autónoma de Zacatecas, México.

* Autor para correspondencia: hmcasas@gmail.com

algunas estructuras minerales profundas se obtenga el mayor contenido de minerales ferromagnéticos.

ABSTRACT

The semidesert region of Zacatecas has been a major driver of economic development sustained at an industrial level by the quantity, quality and price of the minerals found in 13 stunning lithological formations in this state. The study area of approximately 3,744 km² is characterized by rocks of basaltic composition, rhyolite, intrusive rocks such as granodiorite, monzonite of the tertiary period at the beginning of the Cenozoic Era, and also low to medium grade metamorphic rocks also characterized by the type of contact metamorphism of low average degree.

Multivariate analysis was used to build hierarchical diagrams (dendrograms) and maps of similarities. The main spots of high magnetic susceptibility were obtained to be in formations from the quaternary, tertiary, early Cretaceous and late Jurassic periods, which implies that the highest content of ferromagnetic minerals is to be found in these layers of rock and in certain deep mineral structures.

INTRODUCCIÓN

La región del semidesierto de Zacatecas tiene importancia a nivel internacional, debido a que allí se localizan las principales formaciones geológicas que aumentan la explotación y producción futuras de minerales de hierro y magnesio. El oro se encuentra

asociado a la mineralización de especularita, hematita, calcopirita y pirita. Las amplias variedades de rocas en la región, desde minerales metálicos hasta los no metálicos, permiten al geocientífico aportar e indagar el área de estudio con métodos actuales.

Con el resultado del método aplicado, que fue un análisis multivariable, se demuestra adecuadamente que hay importantes concentraciones de minerales en diferentes partes de las localidades del semidesierto zacatecano, y que debido a los emplazamientos, yacimientos, estructuras y formaciones que varían de dimensión, se pueden obtener interesantes valores de hematita, magnetita, cobre y oro, los cuales son sustanciales y necesarios para la industria en general.

El área de estudio se encuentra en la porción semiárida que comprende el estado de Zacatecas y se ubica entre las coordenadas $24^{\circ} 45'$, $24^{\circ} 15'$ de latitud norte a $101^{\circ} 20'$, $101^{\circ} 40'$ de longitud oeste. Ha sido afectada por eventos geológicos durante la Era Mesozoica que consistieron en cambios tectónicos consecuentemente acompañados por amplios eventos volcánicos producidos en tiempos laramídicos (Damon et al., 1981).

El basamento consiste en rocas metamórficas y sedimentarias proterozoicas, producto de los bloques de Oaxaquia, como indican Centeno García et al. (2008). Actualmente, el área de estudio forma parte de una zona que se encuentra en constante crecimiento de actividades de exploración y explotación de minerales dada su importancia económica, como el oro, plata, cobre y zinc. Existen varios estudios geológicos y geofísicos realizados en esta región por empresas, en los que se percataron de ciertas anomalías magnéticas y permitieron delimitar algunas estructuras minerales como es el caso de Chile Colorado, Brecha Azul, Brecha, entre otros documentados por el Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2004a y b).

El objetivo del presente artículo fue lograr un agrupamiento de las unidades de rocas encontradas en el área de estudio para emplearlo en cartografía geológica y otras áreas del conocimiento. Esta técnica puede ser utilizada para la relación de litologías, reconocimiento potencial de contenido de altos puntos magnéticos y observación de anomalías magnéticas. Otra técnica nombrada en este trabajo

es el llamado gradiente vertical, sinónimo de la definición de derivada vertical por Milligan y Gunn (1997), físicamente equivalente a la medición de campo magnético simultáneamente en dos puntos verticalmente, uno encima del otro, substrayendo los datos y dividiendo los resultados entre la separación vertical espacial de los puntos de medición.

De lo nombrado anteriormente, se dará un entendimiento del panorama magnético que permita a su vez promover beneficios e información adicional que sea trascendente a la hora de aprovechar recursos naturales. Los resultados sugieren que los valores de los principales puntos magnéticos de alta susceptibilidad magnética que son las localidades El Sol y La Luna, La Felicidad y La Escondida, se obtienen de las formaciones que datan del Cretácico Temprano y Jurásico Tardío y las formaciones litológicas son parte de una fuente autóctona, como las rocas cuaternarias y terciarias.

MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis consistió en varias fases. Las más importantes fueron dos: en la primera fueron revisadas las variables del campo magnético total (CMT) con respecto a las formaciones litológicas y la segunda fue la mención de la técnica del gradiente vertical, de la reducción al polo con respecto a las formaciones litológicas. Para el análisis de las estructuras litológicas que se encuentran dentro de la región, se utilizó un método multivariable que consistió en un análisis de conglomerados (*cluster* en inglés) y un agrupamiento jerárquico de datos (AJD), definido por Facchinelli et al. (2001). Algunos métodos y estudios similares han sido integrados en bases de datos sobre el noreste de México, que según Aiken et al. (1997), en colaboración con el Instituto de Geografía de la UNAM en 1990, contribuyeron a la generación del modelamiento por computadora e interpretación de la corteza sísmica con métodos gravimétricos que para las formaciones geológicas que construyen la corteza terrestre hasta cierta profundidad es determinada por el alcance de este método. Las rocas de mayor densidad aumentan la aceleración y se realizan mediciones; es decir, se miden las atracciones laterales de la fuerza gravitatoria de un lugar al otro y posteriormente se intentan relacionar con las características geométricas del cuerpo, así como de sus contrastes de densidades. Algunas de las revisiones del modelamiento por computadora

para propósitos de interpretación fueron realizadas a finales de la década de los setenta del siglo XX por el ingeniero hindú Bhattacharyya (1978).

Para cubrir los objetivos propuestos en este trabajo se consultaron las cartas geológicas mineras y magnéticas del SGM, así como diversos trabajos que contienen metadatos y reportes sobre temas de carácter geológico y geofísico-magnético. Se hizo un procesamiento de 11 cartas de escala 1:50,000, de las cuales, cuatro fueron cartas geológicas-mineras, cuatro geofísicas de carácter magnético y tres de derivada vertical, debido a que la carta magnética del primer gradiente vertical correspondiente a Concepción del Oro en 2013 no había sido realizada porque para producirlas se requiere equipo especializado como magnetómetros y programas de cómputo más sofisticados, como el procesamiento de datos en un sistema informático llamado Oasis. Hay cuatro localidades del municipio de Mazapil, Concepción del Oro G14-C62, con curvas 40 nT, Cedros G14-C61 con curvas cada 20 nT y 4 pT/m, El Cardito G14-C71 con curvas cada 10 nT y 2 pT/m y Tanquecillos G14-C72 con curvas de 20nT y 10 pT/m, las que destacamos por su importancia geológica. Para la realización de este artículo no se hizo ningún trabajo de campo, básicamente consistió en la creación y procesamiento de datos vectoriales, cuya información se adquirió de las cartas geológicas antes mencionadas.

Se capturaron capas de información geográfica del campo magnético total (CTM), gradiente vertical y litológica en formato vectorial. La sobreposición de información con la mezcla de sus atributos, mediante capas de entrada, se complementa hasta que se consiga otra capa deseada, esto fue explicado por Davis (2001). Las operaciones permiten que la información de una capa sea superpuesta sobre la información de otra donde, dependiendo de los objetos, se pueden obtener diferente información de salida. En la clasificación de los datos se aplicó un método multivariado para agrupar instancias (variables) que permite el reconocimiento de patrones.

El método utilizado consistió en un análisis de agrupación jerárquica del tipo de proceso por conglomerados acumulativos (*cluster analysis*) propuesto por Jain y Dubes (1988) y para la visualización de la información se utilizaron gráficos jerárquicos que en inglés son conocidos como

dendograms (dendogramas) y constituyen la representación que mejor ayuda a interpretar un análisis de conglomerados. La técnica de agrupación jerárquica es apropiada para mostrar las relaciones de las propiedades físicas de las rocas. Este análisis de grupos jerárquicos es una técnica exploratoria que revela agrupaciones naturales y representa, a su vez, las relaciones con las formaciones de las rocas. El paquete informático de visualización geográfica fue de gran utilidad; correspondientemente fue seleccionado conforme a su capacidad de visualizar las relaciones espaciales entre el ambiente de datos y las características de la superficie de la región.

RESULTADOS

Sobreposición de capas del campo total magnético contra las rocas

El análisis tuvo varias fases, las más importantes fueron dos: en la primera se analizaron variables del campo magnético total (CMT) con respecto a las formaciones litológicas y en la segunda fue la mención de la técnica del gradiente vertical, de la reducción al polo con respecto a las formaciones litológicas, según Milligan y Gun (1997). Se aclara que los valores obtenidos en tablas es la sumatoria de toda la geometría de capas geográficas creadas en las cartas litológicas.

Campo magnético total contra formación litológica

La formación Cupido ocupa mayor extensión superficial en el área de estudio, tiene 24,102.08 ha y es seguida por la formación Cuesta del Cura, la cual tiene 12,168.25 ha. Además, se encuentran tres formaciones litológicas que contribuyen a los valores de alto gradiente magnético y altos valores de intensidad magnético de 2,100 nT, mismas que pertenecen a las formaciones Cupido, Taraises y La Caja, sus valores de desviación estándar están sobre 747.52 nT y 770.61 nT, por lo que sus datos son dispersos, lo que provoca una variación grande con respecto al bajo gradiente del campo magnético total. Consecuentemente, debajo de estos valores se encuentra la formación Zuloaga, con valor de 2,085 nT y promedio de 791 nT. Esto evidencia cuerpos ocultos mineralizados en estas tres unidades litológicas, lo que causa la aparición de anomalías magnéticas en la región y, en consecuencia, entre sus capas se asimila un papel preponderante en la preservación de los depósitos minerales, lo que a su vez causa que se encuentren algunos halos de metamorfismo originados por el contacto de las

secuencias sedimentarias con el cuerpo intrusivo. Ello produce gran porcentaje de mineralización compuesta por óxidos y sulfuros de fierro encima de la otra capa secuencial de la formación Zuloaga, esta puede ser la razón por la que en la Figura 1 se exponen altos valores de susceptibilidad para rocas sedimentarias marinas. En general, el contenido de magnetita es extremadamente variable y la susceptibilidad de las rocas puede ser considerable en el solapamiento entre diferentes litologías. Las rocas metamórficas también son variables en su carácter magnético, si la presión de oxígeno parcial es relativamente baja, la magnetita es reabsorbida, el fierro y oxígeno son incorporados dentro de otra fase mineral como el grado de metamorfismo incrementa (Kearey et al., 2002).

La desviación estándar de 5.91 a 23.50 nT y promedios de -40, -49 y -11 nT de las formaciones Nazas, La Joya y Taray exhiben un bajo gradiente magnético. Esto implica que los datos de la desviación estándar no son muy altos, están cerca de los valores promedio, la formación Taray es el basamento y es de gradiente menor, también tiene la característica de ser no magnético, decrece la cantidad de minerales ferromagnéticos.

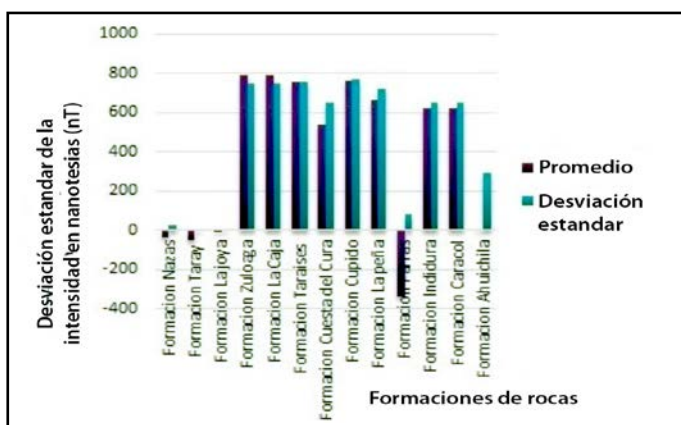


Figura 1. Gráfica de los valores de las diferentes formaciones de rocas y la distribución con los índices más altos y más bajos. Elaboración propia con información obtenida de las cartas consultadas en el SGM (1997, 1998, 2004, 2005).

Para la clasificación de los elementos en conglomerados se utilizaron diagramas jerárquicos que partiendo de un solo grupo van separados de los demás elementos y los cuales, cada vez se van haciendo más pequeños. A partir de estas unidades iniciales se van formando grupos de forma ascendente; las líneas superior e inferior con valores

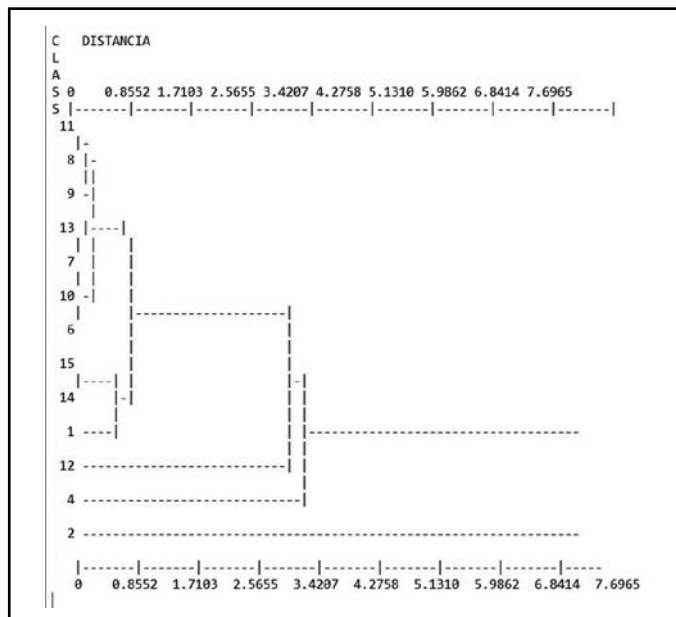


Figura 2. Análisis del diagrama jerárquico. Elaboración propia con información obtenida de las cartas consultadas del SGM (1997, 1998, 2004, 2005, 2009).

ascendentes indican que cada elemento entre más se aleje de cero disminuye la similitud con respecto a sus componentes minerales; las observaciones más distantes son 4 y 12 las únicas mayores distancias y la 2, que no tiene grupo. La observación más cercana de elementos con menor distancia (más cercanas a cero) es 11, 8, 9, 13, 7, 10, 6, 15, 14. En el dendograma de las variables campo magnético total (CMT) y formaciones geológicas, las formaciones La Peña (11) y Taraises (8) forman un grupo en el primer nivel; las formaciones Indidura (13), La Caja (7), Cupido (10) y Zuloaga (6) forman el segundo grupo en el primer nivel. Las formaciones Ahuichila (15) y Caracol (14) se encuentran formando el tercer agrupamiento.

El primer grupo de rocas representado por las formaciones La Peña, Taraises, Cuesta del Cura, Indidura, La Caja, Cupido y Zuloaga, está asociado a los cambios progresivos del magma intermedio que se solidifica como cuerpo intrusivo dentro de estas capas de roca encajonante; el magma enriquecido interactúa con las diferentes unidades litológicas, que es la posible razón de anomalías fuertes y positivas magnéticas.

Las formaciones Caracol y Ahuichila están controladas por una clara asociación, sus contactos superiores se encuentran adyacentes, caracterizados por basaltos y sedimentos lacustres a consecuencia

de efectos tectónicos; son formaciones afectadas por intensos plegamientos y probablemente comparten componentes minerales en estos depósitos continentales.

Gradiente vertical contra formación litológica

Si se toma en cuenta la sobreposición de capas de atributos de la derivada vertical, la combinación de los valores de las formaciones que están distribuidas en la región y los datos arrojados del campo magnético total, se obtiene que las formaciones Cuesta del Cura, La Peña y Cupido tienen los valores más altos de 282 pT/m, 280 pT/m y 279 pT/m, y sus valores mínimos, de -204 pT/m, -200 pT/m y -200 pT/m, implican que Cuesta del Cura es una de las unidades litológicas que conforma núcleos significativos de áreas mineralizantes granodioríticas y que por alguno de los diversos efectos como la presión parcial de alto oxígeno pudieron haber producido minerales accesorios como ilmenita, piroxenos, esfena y biotita, alanita, pirita Clark (1997); en la Figura 3 se reflejan sus diferentes capas y agrupaciones. Los valores máximo y mínimo se muestran en negritas en la Tabla 1.

Las observaciones que se percibieron en la formación Parras, composición de lutitas fisibles, consisten en que sus dominios magnéticos carecen de sus valores de intensidad, por lo que las capas

litológicas no son geológicamente magnéticas debido a que las partículas de roca en su mayoría están estructuradas por minerales detríticos como arcillas de 0.0039 mm, los más finos en las rocas. Es improbable que entre sus minerales accesorios se encuentren minerales ferromagnéticos debido a su probable alteración del contenido de carbonato de sodio.

Como en el dendrograma anterior, las líneas superior e inferior con valores ascendentes indican que cada elemento entre más se aleje de cero disminuye la similitud con respecto a sus componentes minerales. Las observaciones más distantes son los grupos de formación Indidura (13), que no tiene grupo, *skarn*, *hornfels* (2), mármol (1), formación Caracol (14) y filita-arenisca (4). Las observaciones más cercanas, que son elementos con menor distancia de cero corresponden a 11, 8, 9, 15, 6, 7. En el dendrograma de las variables de gradiente vertical y formaciones geológicas se observan cuatro grupos, de los más significativos son 2: la formación La Peña (11), Taraises (8), forman el primer grupo correspondiente al primer nivel. De las formaciones Ahuichila (15) y Zuloaga (6) se forma el segundo agrupamiento, las rocas *skarn*, *hornfels* (2) y mármol (1) forman el tercer grupo y la formación Caracol (14) y filita-arenisca (4) forman el cuarto.

Tabla 1. Conjunto de valores de las capas de rocas de formaciones geológicas con relación al gradiente de reducción que muestra su índice bajo como el más alto

Formación	Superficie ha	Mínimo en pT/m	Máximo en pT/m	Promedio en pT/m	Desviación estándar pT/m
Formación Nazas	1,578.37	-14	21	4	10.53
Formación Taray	56.2	-1	3	1	1.58
Formación La Joya	25.22	-14	-3	-9	3.60
Formación Zuloaga	10,053	-210	269	-9	3.60
Formación La Caja	2105	-210	199	-7	117.51
Formación Taraises	3,448.05	-210	227	5	125.19
Formación Cuesta del Cura	18,488.21	-200	282	41	139.57
Formación Cupido	16,985.51	-204	279	38	139.86
Formación La Peña	2,809	-200	280	39	138.24
Formación Parras	0	0	0	0	0
Formación Indidura	1,042.62	-124	59	-33	53.26
Formación Caracol	2,805.44	-120	69	-35	50.74
Formación Ahuichila	11.16	-20	51	16	20.92

Elaboración propia con información obtenida de las cartas consultadas en el SGM (1997, 2004, 2005, 2009, 2010).

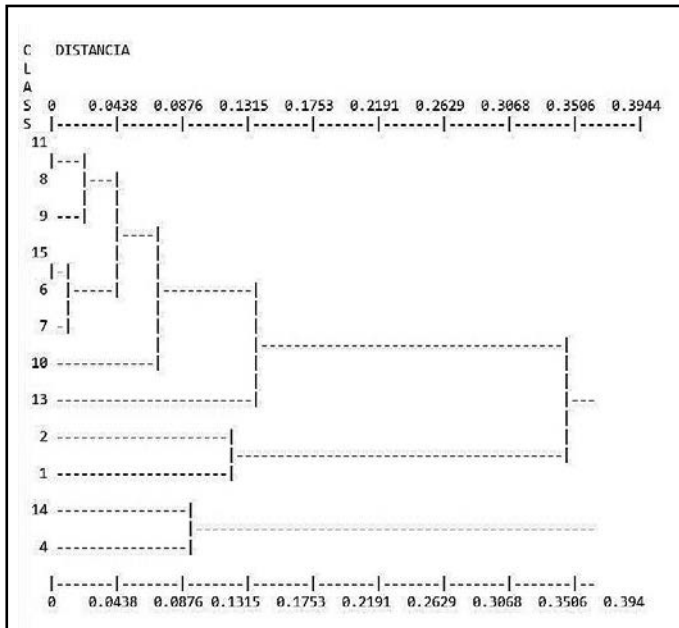


Figura 3. Análisis del diagrama Jerárquico de gradiente vertical magnético y formaciones geológicas. Elaboración propia con información obtenida de las cartas consultadas del SGM (1997, 2004, 2005, 2009, 2010).

El resultado estadístico del primer grupo fue menos concluyente, mientras que el agrupamiento 2 confirma la explicación mineralogénico-magmática, quedan algunas dudas acerca de los grupos 3 y 4. Las posibles explicaciones son las siguientes:

- Las formaciones La Peña y Taraises, en el grupo 1, al igual que el grupo 2 de las formaciones Ahuichila y Zuloaga, están asociadas con otro factor mineralogénico; por ejemplo la presencia de rocas con sulfuros del mismo cuerpo intrusivo que los atraviesa.
- En las rocas *skarn*, *hornfels* y mármol están controladas por el proceso metamórfico regional y si se analiza la variabilidad somera del *skarn* es principalmente controlada por algunas anomalías magnéticas fuertes y positivas alrededor de los intrusivos riolíticos y granodioríticos en las localidades de Noche Buena, Concepción del Oro y Terminal de Providencia.

DISCUSIÓN

Los resultados derivados del presente estudio muestran los puntos interesantes de susceptibilidad magnética de uno de los semidesiertos más importantes de México y Latinoamérica. Estos



Figura 4. La sierra en Concepción del Oro, Zacatecas, México. Fotografía tomada por Antonio Ambriz Avendaño.

valores de susceptibilidad magnética se encuentran pegados a los datos expuestos obtenidos de las cartas litológicas y magnéticas de Cedros, Concepción del Oro, El Cardito y Tanquecillos expuestos en el SGM (1997, 1998, 2004, 2005, 2009, 2010) y representan una seria comprensibilidad debido a las implicaciones que el sector minero tiene sobre los recursos naturales.

Si se revisan los estudios y la aportación de datos de las cartas geológicas del SGM (2004), el valor alto magnético coincide en el área de Concepción del Oro, el área Noche Buena y Santa Rosa; tres de las más productivas de México. Se explica debido al mineral granodiorítico asociado al intrusivo que genera un mineral llamado *skarn*, en donde las principales estructuras formadas son chimeneas de dimensiones de hasta 500 m², en donde se destacan las localidades El Capulín, Sol y Luna, La Escondida, La Laja, La felicidad, entre otros. Dentro de las rocas Mesozoicas, las formaciones Taraises, La Caja, Cupido y La Peña, como se explicó anteriormente, son formaciones donde sus estructuras minerales se encuentran profundas y ocultas.

Las diferencias de estos valores con respecto a los estudios de otras zonas del país no son similares. De acuerdo con un estudio de López Loera y Tristán González (2013), en el altiplano central de la parte centro oriental en el norte de la sierra San Miguelito, los valores son bajos con respecto a sus anomalías magnéticas de bloques para patrones de fallamientos normales, asimismo, para las anomalías de características negativas.

Mediante uno de los métodos más elegantes: la agrupación jerárquica del tipo de proceso por conglomerados acumulativos (*cluster analysis*) se puede aceptar el cumplimiento de agrupación para cada una de las formaciones litológicas, a su vez expresaría que estos patrones de agrupamiento operan no solo para formaciones litológicas y capas de roca, sino también para una buena parte de fenómenos aglomerativos, susceptibles de ser clasificados jerárquicamente como valores anómalos geoquímicos, entre otros. Es por ello que se recomienda reportar los resultados en estas representaciones gráficas para enriquecer el análisis con este modelo estadístico.

Cabe destacar que es escasa la literatura que aborda las características magnéticas en el estado de Zacatecas se exhiben más bien una serie de reportes de diferentes localidades y municipalidades en la que el autor de este trabajo cree que esta versión actual es una contribución interesante que resulta de una apertura de proceso de datos. Finalmente, el área del semidesierto y el país cuenta con varias contingencias de estudio, que actualmente ha colocado a México como líder de la producción, importación y exportación de oro.

CONCLUSIONES

Se utilizaron 11 mapas magnéticos y geológicos de la red SGM para conocer los agrupamientos jerárquicos, de los cuales esta investigación se benefició para el análisis de la región del semidesierto de Zacatecas, en especial algunas localidades del municipio de Mazapil. Los resultados principales se obtuvieron de la información de los mapas del campo magnético total para el análisis multivariado de las diferentes capas geológicas y por medio de agrupación e interpretación se identificaron varias relaciones.

Las rocas de pórfido riolítico y tipo *skarn* y *hornfels* tienen similitudes en sus valores de intensidad del campo magnético total. Debido a su parentesco en remanencia y susceptibilidad magnética, ambos grupos de rocas están asociados con los procesos magmáticos. Las formaciones La Peña, Taraises, Cuesta del Cura, Indidura, Caja, Cupido y Zuloaga constituyen grupos y sus capas de rocas tienen altos valores de magnetización. La magnetización de estas rocas sedimentarias marinas es producida por el magma enriquecido que interactúa con las diferentes unidades litológicas, que es la posible

razón de anomalías magnéticas fuertes y positivas; además, estos datos significan que debido a su contenido magnético semejante, las capas se encuentran solapadas posiblemente con intrusivos de la región asociados a un proceso de acreción en la porción de la mesa central. Este tipo de fenómeno sucede cuando cierta cantidad de sedimentos son empujados contra los continentes y sufren metamorfismo de alta presión, esto se puede asociar con la deformación del Cretácico Tardío y con la sucesión de cabalgamientos y depósitos originados por la Orogenia Laramide.

Referente al gradiente magnético y formaciones litológicas, la variabilidad de las formaciones La Peña y Taraises, ambas asociadas, es controlada por rocas padre de rocas magmáticas. El paquete informático SIG muestra datos de relaciones espaciales entre anomalías positivas y negativas en relación con minerales ferromagnéticos.

Por último, el agrupamiento de la edad del campo magnético total es similar al grupo de los datos de la derivada de reducción en el sentido en que fueron agrupados en relación con sus diferentes valores magnéticos, son más suaves, por lo que el gradiente es menos abstracto. Los valores obtenidos muestran que los principales puntos magnéticos de alta susceptibilidad (área de Noche Buena, Concepción del Oro y Santa Rosa) pertenecen a las formaciones de la Era Cretácica Temprana y Jurásica Tardía, que probablemente resultaron de una fuente autóctona, al igual que las rocas de la Era Cuaternaria y Terciaria.

Futuro de la investigación

Los sistemas de información geográfica son usados por miles de geocientíficos, técnicos y continúan expandiéndose. Esto ha provocado que el uso de esta tecnología haya sido asimilada por universidades, gobierno, industria e instituciones en las que actualmente el SIG (paquete informático) provee de acceso y conexión a internet para poder acceder a nuevos subconjuntos de datos y opciones de operatividad vía satélite, en los que varias disciplinas en conjunto tratan de entender los patrones, procesos y algunas consecuencias que tienen las formaciones litológicas dentro de la geología y la tierra, algunas zonas potenciales de mineral hacen mejorar y entender el proceso que interviene en ellas en donde se incorporan más métodos en lo que se refiere a estudios de

focos de potencialidad magnética, así como la determinación de la cuantificación de los recursos naturales.

Agradecimientos

El autor desea agradecer los valiosos comentarios y contribuciones de Francisco Benita Maldonado y

Simón Eduardo Carranco Lozada, los cuales sirvieron para mejorar considerablemente la calidad de este documento. También los comentarios y sugerencias de dos dictaminadores anónimos, así como a Mónica Ávalos Valladares su sugerencia sobre el traslado de parte de los textos al pie de figuras a párrafo, que mejoró la estructura del trabajo.

LITERATURA CITADA

- AIKEN, C. L. V. et al. Integrated studies of Mexico with gravity, magnetic and GIS database. *The Leading Edge*, 16(12): 1779-1785, 1997.
- BHATTACHARYYA, B. K. Computer modeling in gravity and magnetic interpretation. *Geophysics*, 43(5): 912- 929, 1978.
- CENTENO GARCÍA, E. et al. The Guerrero Composite Terrane of Western Mexico: Collision and subsequent rifting in a supra-subduction zone. *The Geological Society of America*, 436, 279-308, 2008.
- CLARK, D. A. Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geologic interpretation of magnetic surveys. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17(2): 83-103, 1997.
- DAMON, P. E. et al. Evolución de los arcos magmáticos en Mexico y su relación con la metalogénesis. *Revista del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de Mexico*, 5(2): 223-238, 1981.
- DAVIS, B. E. *GIS: a visual approach*. Albany, NY, US: Delmar Thomson Learning, 2001.
- FACCHINELLI, A. et al. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution*, 114(3): 313-324, 2001.
- JAIN, A. K. y DUBES, R. C. *Algorithms for Clustering Data*. Englewood Cliffs, NJ, US: Prentice Hall, 1988.
- KEAREY, P. et al. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Wiley-Blackwell Publishing, 2002.
- LÓPEZ LOERA, H. y TRISTÁN GONZÁLEZ, M. Geología y magnetometría aérea del Graben de Villa de Reyes, San Luis Potosí, Mesa Central de México: implicaciones tectónicas y geohidrológicas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(1): 137-156, 2013.
- MILLIGAN, P. R. y GUNN, P. J. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17(2): 63-75, 1997.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). Carta Geología-Minera, G14-C61, Escala 1:50000, 2004a.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). Carta Geología-Minera, G14-C62, Escala 1:50000, 2004b.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). Carta Geología-Minera, G14-C71, Escala 1:50000, 1996.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). Carta Geología-Minera, G14-C72, Escala 1:50000, 2005.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). Carta magnética de la primera derivada vertical del campo total reducido al polo alta resolución G14-C61, Escala 1:50000, 1997.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). Carta magnética de la primera derivada vertical del campo total reducido al polo alta resolución G14-C671, Escala 1:50000, 2009.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). Carta magnética de la primera derivada vertical del campo total reducido al polo alta resolución G14-C672, Escala 1:50000, 2010.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). Carta magnética del campo total G14-C61, Escala 1:50000, 1997.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). Carta magnética del campo total G14-C62, Escala 1:50000, 2009.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). Carta magnética del campo total G14-C71, Escala 1:50000, 1997.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). Carta magnética del campo total G14-C72, Escala 1:50000, 1998.

De páginas electrónicas

- AMBRIZ AVENDAÑO, A. [Fotografía]. Recuperada el sábado 5 de marzo de 2016, de <http://www.panoramio.com/photo/18358508>

Calidad de agua en términos físico-químico-metales en tres sitios contrastantes del río Conchos en Chihuahua, México

Water quality using physical-chemical and metal parameters in three contrasting locations of the Conchos river in Chihuahua, Mexico

Héctor Rubio Arias^{1*}, Jesús Manuel Ochoa Rivero², Roberto Carlos Ortiz Delgado³, Rey Manuel Quintana¹, Rubén Alfonso Saucedo Terán², María de Lourdes Villalba⁴

Rubio Arias, H., Ochoa Rivero, J. M., Ortiz Delgado, R. C., Quintana R. M., Saucedo Terán, R. A., Villalba, M. L. Calidad de agua en términos físico-químico-metales en tres sitios contrastantes del río Conchos en Chihuahua, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 13-22, enero-abril 2017

RESUMEN

En el estado de Chihuahua predominan los ecosistemas áridos y semiáridos, por esta razón, el recurso agua es considerado como primordial. El objetivo fue determinar la calidad del agua en términos físico-químico-metales en tres sitios contrastantes del río Conchos: antes (escorrentía), en la presa (almacenada) y después (liberada). Se colectaron un total de 80 muestras aleatorias de agua; 30 en la localidad de Valle de Zaragoza (VZ), 20 en la presa La Boquilla (PB) y 30 en la localidad de San Francisco de Conchos (SFC). Se cuantificaron los parámetros de temperatura (T), sólidos disueltos totales (SDT), potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE) y los siguientes metales y metaloides: Al, As, B, Cd, Pb, Se, Ca, Cr, Cu, Co, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Si y Zn.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey para la comparación de medias y se consideró un nivel de significancia de 0.05 ($\alpha=$

0.05). Los resultados no mostraron diferencias para pH (VZ= 8.53; PB= 8.60; SFC= 8.42) pero sí para T (VZ= 17.5° C; PB= 14.2° C; SFC= 15.2° C), CE (VZ= 0.33 $\mu\text{S cm}^{-2}$; PB= 0.18 $\mu\text{S cm}^{-2}$; SFC= 0.18 $\mu\text{S cm}^{-2}$) y SDT (VZ= 273.90 mg/l⁻¹; PB= 0.33 mg/l⁻¹; SFC= 259.8 mg/l⁻¹). Los elementos As, Ag, Cd no fueron detectados y la concentración de Al, B, Ca, Cr y Mg fue diferente entre sitios, pero no para Mn, Na, Pb, Se, Cu, Fe, K, Ni, Si y Zn. Se concluye que el agua bajo estudio es segura con fines agropecuarios y desde el punto de vista ecológico.

ABSTRACT

The state of Chihuahua is located in a geographic region where half of the State is considered to be a semiarid or arid environment; for this reason, the water resource is a fundamental necessity. The objective was to determine the water quality in terms of physical-chemical-metals parameters at three location points of the Conchos river; before being captioned in the dam and after being captioned. A total of 80 random samples were collected; thirty randomly water samples were collected in Valle de Zaragoza (VZ), 20 samples in the Boquilla dam (PB) and 30 samples in San Francisco de Conchos (SFC). The measured parameters were temperature (T), total dissolved solids (TDS), hydrogen potential (pH), electrical conductivity (EC) and the following metals and metalloids; Al, As, B, Cd, Pb, Se, Ca, Cr, Cu, Co, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Si y Zn. An analysis of variance (ANOVA) was conducted for each parameter and when statistical difference between locations was found, the Tukey's test was performed. In all cases

Palabras clave: calidad agua, río Conchos, Chihuahua, México, metales.

Keywords: water quality, Conchos river, Chihuahua, Mexico, metals.

Recibido: 14 de agosto de 2015, aceptado: 1 de julio de 2016

¹ Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias sitio experimental La Campana, México.

³ Consultoría independiente.

⁴ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

* Autor para correspondencia: rubioa1105@hotmail.com

a significance level of 0.05 was considered ($\alpha=0.05$). The results did not show statistical differences for pH (VZ= 8.53; PB= 8.60; SFC= 8.42) but differences were noted for T (VZ= 17.5° C; PB= 14.2° C; SFC= 15.2° C), EC (VZ= 0.33 $\mu\text{S cm}^{-2}$; PB= 0.18 $\mu\text{S cm}^{-2}$; SFC= 0.18 $\mu\text{S cm}^{-2}$) and TDS (VZ= 273.90 mg/l⁻¹; PB= 0.33 mg/l⁻¹; SFC= 259.8 mg/l⁻¹). The elements As, Ag, and Cd were not detected and the concentration for Al, B, Ca, Cr, and Mg was different due to locations but not for Mn, Na, Pb, Se, Cu, Fe, K, Ni, Si and Zn. It is concluded that the water of the study area is safe for irrigation as well as for ecological purposes.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la ONU (Organización de las Naciones Unidas), el agua es un recurso natural limitado que debe ser considerado como bien público, ya que es fundamental para toda forma de vida y, en especial, para la salud humana (ONU, s. f.). Este recurso cubre 71% de la superficie terrestre y se localiza principalmente en los océanos, donde se concentra 96.5% del agua. El resto se encuentra en glaciares y casquetes polares que contienen 1.74%, así como en depósitos subterráneos, permafrost (siempre congelados) y glaciares continentales con 1.72%. El restante 0.04% se reparte entre lagos, humedad en suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos (Gleick et al., 2002).

El agua que fluye en el río Conchos es considerada como el recurso natural más importante del norte de México y representa la principal corriente superficial del estado de Chihuahua (CNA, 2010). Este río nace en la vertiente oriental de la Sierra Madre Occidental, en la región conocida como la Alta Sierra Tarahumara. Luego, sus aguas cruzan las amplias llanuras del desierto chihuahuense y, finalmente, se incorporan al río Bravo/río Grande en la zona fronteriza de Ojinaga (Kelly, 2001; Colegio de Chihuahua, 2007). Es importante mencionar que en el estado de Chihuahua existen embalses que han sido construidos por el hombre, como la presa La Boquilla (Lago Toronto), la Francisco I. Madero (Las Vírgenes) y la Luis L. León (El Granero); los cuales captan el agua de los diversos tributarios del río Conchos y la utilizan en forma posterior para diversos propósitos. De toda la infraestructura hidráulica del estado de Chihuahua, la más importante y de mayor magnitud es la presa La Boquilla, que tiene una capacidad de 2,903 Mm³ (INEGI, 2003).

Para la cuenca hidrológica del Conchos, algunos estudios previos han indicado diversos niveles de contaminación del agua que fluye en sus tributarios (Rubio et al., 2004; Holguín et al., 2006; Gutiérrez et al., 2008; Rubio Arias et al., 2012), de su área ribereña (Rubio Arias et al., 2005) e incluso, en centros recreativos o de esparcimiento, como es el caso del Lago Colina (Rubio Arias et al., 2011). Este efecto de contaminación incluye los principales embalses de Chihuahua que presentan niveles considerables en diversos parámetros, en especial de metales pesados; por ejemplo, Hernández et al. (2007) encontraron concentraciones de Fe, Ni y Pb que rebasaron los niveles máximos permitidos por la NOM-001-ECOL-1996 en tres presas del estado. Debido a la importancia de este recurso natural, es imprescindible determinar las condiciones del agua que fluye en el río Conchos y, a su vez, determinar los posibles cambios que se puedan presentar durante el tiempo de almacenamiento. Además, es necesario identificar los potenciales efectos antropológicos como la concentración de metales pesados o algún otro elemento que pudiera estar afectando al medio ambiente, a su flora y fauna, así como a los habitantes establecidos en los márgenes, ya que de esta zona se extrae gran parte del pescado que se consume en la región.

El objetivo de este estudio fue cuantificar el nivel de contaminación del agua del río Conchos en términos físico-químico-metales antes y después de ser almacenada, así como durante su almacenamiento en la presa La Boquilla. Se espera que estos resultados sirvan a las autoridades de los diferentes niveles de gobierno, así como a los habitantes locales a conocer el grado de contaminación, con el fin de proponer esquemas futuros de manejo y de remediación, en su caso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción y localización del área de estudio

El río Conchos es considerado el más caudaloso e importante del estado de Chihuahua, y el principal afluente del río Bravo/río Grande que sirve como barrera natural entre Estados Unidos y México. La cuenca hidrológica del Conchos tiene una extensión de 68,606 km² y se encuentra en su mayoría dentro del estado de Chihuahua, cubre alrededor de 26% de su superficie. Una de las principales funciones de esta cuenca hidrológica es la de abastecer de agua a miles de habitantes, quienes la aprovechan

por medio de la construcción de represas o grandes presas de almacenamiento. Antes de ser captada en la presa La Boquilla, las aguas del río Conchos pasan cerca de la comunidad Valle de Zaragoza, que se localiza a 27°27'22" norte, y a 105°48'39" oeste, a 1,340 m.s.n.m. (Figura 1). En esta localidad se presenta un clima semiárido extremoso con una temperatura máxima extrema de 41.0° C, y una media mínima de -5.5° C, media anual de 18.7° C. La precipitación pluvial media anual es de 466.1 mm, con vientos dominantes del suroeste (INEGI, 2005). La presa La Boquilla se construyó en 1915 (Dean y Schmidt, 2011) con el propósito de almacenar el agua proveniente del río Conchos, generar energía y ser utilizada en actividades de irrigación. Este reservorio está localizado en el municipio de San Francisco de Conchos, el cual se encuentra a 250 km de la capital del estado (Gutiérrez y Borrego, 1999). Luego de su almacenamiento, el agua es liberada cerca de la comunidad La Boquilla, la cual se encuentra en el municipio de San Francisco de Conchos (27°35'18"norte y 105°20'03" oeste) a 1,233 m.s.n.m. (Figura 1). En esta región el clima es semiárido extremoso, con una temperatura máxima de 41.7° C, mínima de 14.1° C; precipitación pluvial media anual de 363.9 mm y los vientos dominantes provienen del suroeste (INEGI, 1998).

Obtención de muestras de agua

Se realizaron tres muestreos durante el mes de marzo de 2010. El primero se realizó en el río Conchos, cerca de la localidad de Valle de Zaragoza (VZ); es decir, antes de que las aguas del río fueran captadas en la presa La Boquilla (PB). En la sección de VZ se

obtuvieron 30 muestras aleatorias en un tramo de 1,000 m a una profundidad de 0.30 m. Las muestras fueron colectadas en sentido contrario a la corriente en envases previamente lavados y etiquetados con capacidad de 1 l. Cada sitio fue debidamente georreferenciado con ayuda de un GPS comercial (Garmin-TM). El segundo muestreo se realizó en la presa La Boquilla, para lo cual se utilizó una lancha con motor fuera de borda. En forma previa se cuadrículó el área total de almacenamiento y luego se seleccionaron 20 cuadrantes de manera aleatoria. En cada uno se recolectó una muestra de agua a los 0.30 m de profundidad. Al igual que en el primer muestreo los recipientes fueron lavados, etiquetados y cada punto georreferenciado. El tercer muestreo se realizó después de que las aguas fueran liberadas de la presa en un lugar cercano a la comunidad de San Francisco de Conchos (SFC), donde se localizaron puntos aleatorios de la misma forma en que se realizó en el tramo de la localidad de Valle de Zaragoza, se colectaron 30 muestras de agua. Se obtuvieron un total de 80 muestras; 30 en Zaragoza (VZ); 20 en la presa La Boquilla (PB) y 30 en San Francisco de Conchos (SFC). Las mismas fueron colocadas en hieleras para su debida conservación a una temperatura aproximada de 4° C y trasladadas al Laboratorio de Parámetros Ambientales de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua para su posterior análisis. La toma de muestras se efectuó de acuerdo al criterio citado en la Norma mexicana NMX-AA-014-1980 (SCFI, 1980) que especifica sobre los lineamientos y recomendaciones para muestreos en cuerpos receptores de aguas superficiales.

Análisis de las muestras

El parámetro de temperatura (T) se obtuvo *in situ* con un termómetro de mercurio de acuerdo con la Norma mexicana NMX-AA-007-SCFI-2000. Los parámetros de pH y de conductividad eléctrica (CE) se cuantificaron también *in situ* utilizando un potenciómetro-conductivímetro marca Hanna Instruments™ Modelo Waterproof pH/CE/Temp de acuerdo con las normas NMX-AA-008-SCFI-2000 y NOM-AA-093-SCFI-2000. La cuantificación de Ag, Al, As, B, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Se, Si y Zn se realizó en un espectrofotómetro de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) 2100 Perkin Elmer™. Previo a la cuantificación de metales a las muestras se les realizó una digestión de acuerdo con la Norma mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001.

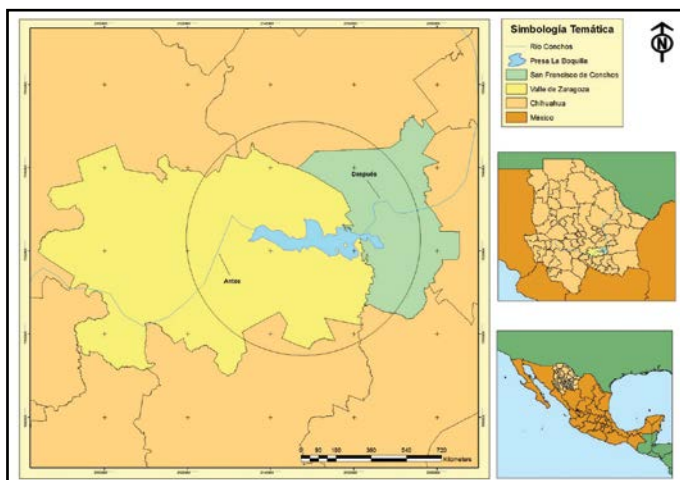


Figura 1. Ubicación geográfica de los tres sitios de muestreo en el río Conchos en Chihuahua, México. Elaboración propia.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para detectar diferencias entre los tres puntos de muestreo y cuando se encontraron diferencias estadísticas entre sitios se utilizó la herramienta estadística de comparación de medias empleando la prueba de Tukey (Rubio y Jiménez, 2012). En todos los casos se consideró un nivel de significancia de 0.05 ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS

No se detectaron diferencias entre sitios para el parámetro de pH ($P>0.05$). La media en VZ fue de 8.53, mientras que en PB fue de 8.60 y de 8.42 en SFC. La concentración de CE fue diferente entre sitios ($P<0.05$) y se detectó que la media en VZ tuvo un valor de $0.34 \mu\text{S cm}^{-2}$, distinto a los obtenidos en PB y en SFC, que presentaron valores de $0.18 \mu\text{S cm}^{-2}$ (Figura 2a). Para la variable T, el ANOVA detectó diferencias entre sitios ($P<0.05$), donde la media en VZ tuvo un valor de $17.5 \text{ }^\circ\text{C}$ y fue estadísticamente diferente a los valores de PB con $14.2 \text{ }^\circ\text{C}$ y a los de SFC con $15.2 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 2b). Para SDT, el ANOVA detectó diferencias entre sitios ($P<0.05$), con valor diferente la media en VZ con 273.90 mg l^{-1} de la de PB con 0.33 mg l^{-1} , pero igual al valor en SFC con 259.8 mg l^{-1} .

Los siguientes elementos no fueron encontrados en ninguna de las muestras; Ag, As y Cd, o bien, fueron ligeramente detectados. En especial los resultados para As estuvieron por abajo de 0.01 mg l^{-1} y fueron inconsistentes, por lo cual no se discuten los resultados de este metaloide ni tampoco los de Ag y Cd. El As es difícil de cuantificar y en ocasiones su rango de lectura presenta altos contrastes debido a que son pequeñas cantidades y su varianza, en consecuencia, es alta. Para la concentración de Al, el ANOVA detectó diferencias entre sitios de muestreo ($P<0.05$) donde la media en VZ fue de 0.28 mg l^{-1} , mientras que en PB y SFC se encontraron niveles similares (0.76 mg l^{-1} y de 0.77 mg l^{-1}) que se muestran en la Figura 2d. La prueba de Tukey encontró que la concentración en VZ fue diferente a las otras dos localidades, mientras que los niveles en PB y SFC fueron estadísticamente similares. Para el elemento B se encontraron diferencias entre zonas de muestreo ($P<0.05$), donde la media en VZ fue de 0.11 mg l^{-1} , mientras que en PB fue de 0.14 mg l^{-1} y de 0.03 mg l^{-1} en SFC. La prueba de Tukey demostró una igualdad estadística entre VZ y PB, pero diferente a SFC. La concentración de Ca fue diferente para las zonas de muestreo ($P<0.05$). La mayor concentración se detectó en VZ con 54.10 mg l^{-1} , mientras que en PB fue de 48.36 mg l^{-1} y luego disminuyó en SFC con 34.15

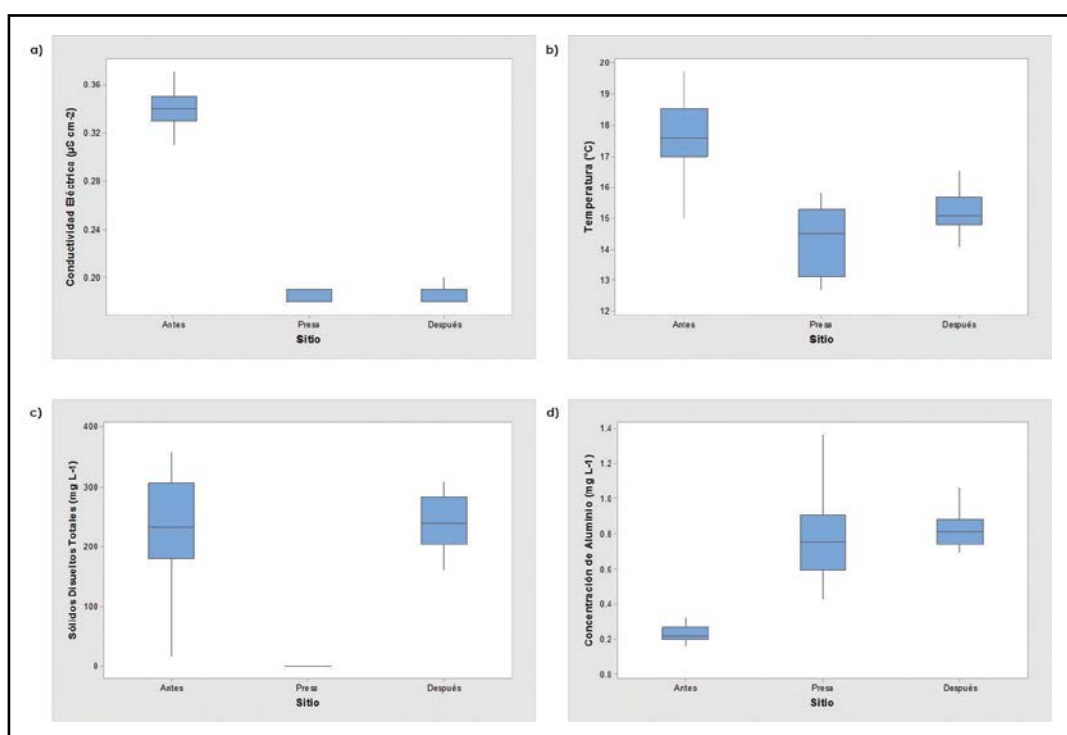


Figura 2. Concentración de las variables conductividad eléctrica (a), temperatura (b), sólidos disueltos totales (c) y Aluminio (Al) en agua del río Conchos. Elaboración propia.

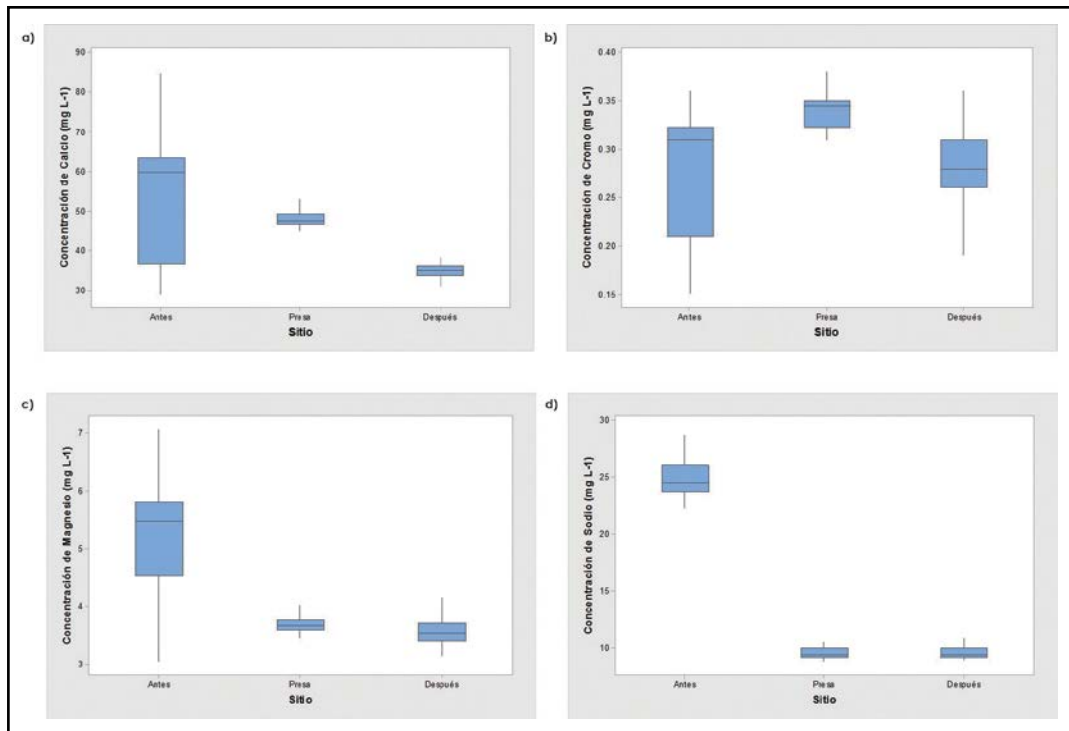


Figura 3. Concentración de las variables calcio (a), cromo (b), magnesio (c) y sodio (d) en agua del río Conchos. Elaboración propia.

mg l⁻¹ (Figura 3a). Los niveles de Cr fueron diferentes entre zonas de muestreo ($P < 0.05$). La concentración media en VZ fue de 0.27 mg l⁻¹ y este valor fue diferente estadísticamente a la concentración en PB (0.37 mg l⁻¹), pero no diferente de SFC (0.27 mg l⁻¹).

No se encontraron diferencias estadísticas entre zonas de muestreo para Cu, Fe, K, Ni, Si y Zn. Los niveles de Cu para VZ y SFC fueron de 0.06 mg l⁻¹ y de 0.07 mg l⁻¹ en PB. Para el caso de Fe se detectó una concentración de 0.83 mg l⁻¹ para VZ y SFC, esta concentración se incrementó ligeramente en PB con 0.85 mg l⁻¹. El K tuvo una concentración de 5.68 mg l⁻¹ en VZ, de 5.39 mg l⁻¹ en PB y de 5.82 mg l⁻¹ en SFC. Para Ni, la mayor concentración se notó en VZ con 1.37 mg l⁻¹ y la menor en SFC con 1.28 mg l⁻¹. El nivel de Si fue similar estadísticamente con valores de 7.78 mg l⁻¹ en VZ, de 7.72 mg l⁻¹ en PB y de 7.36 mg l⁻¹ en SFC. Para el Zn la mayor concentración se observó en VZ con 0.117 mg l⁻¹, después PB con 0.10 mg l⁻¹ y con 0.07 mg l⁻¹ en SFC.

Para el caso particular de Mg se encontraron diferencias entre zonas de muestreo ($p < 0.05$) detectando la mayor concentración en VZ con 5.24 mg l⁻¹ y siendo estadísticamente diferente para PB con 3.70 mg l⁻¹ y para SFC con 3.50 mg l⁻¹; estas

dos últimas medias fueron estadísticamente iguales (Figura 3c). El nivel de Mn no fue diferente entre sitios ($P < 0.05$). La media en VZ fue de 0.041 mg l⁻¹, en SFC de 0.045 mg l⁻¹ y la concentración en PB fue de 0.050 mg l⁻¹. El Na fue diferente entre puntos de muestreo ($P < 0.05$). La mayor concentración se observó en VZ con 23.58 mg l⁻¹ y la menor fue en PB con 9.54 mg l⁻¹, mientras que en SFC la concentración fue de 10.20 mg l⁻¹. El Pb fue diferente entre sitios ($P < 0.05$). La mayor concentración se observó en SFC con 0.045 mg l⁻¹ y la menor en PB con 0.025 mg l⁻¹, por lo que se nota un nivel de 0.034 mg l⁻¹ en VZ. Finalmente, el Se no fue diferente entre localidades de muestreo con niveles de alrededor de 0.012 mg l⁻¹ en los tres sitios.

DISCUSIÓN

Los altos valores de pH observados en VZ y en PB, posiblemente se deban a la presencia de sales disueltas y materiales suspendidos que transporta el agua en su trayectoria de las partes altas hacia las bajas (Mosley, 2015). El nivel de pH está relacionado con estrés, mortalidad o diversas enfermedades en un determinado ecosistema acuático (Sansawat y Thirabunyanon, 2009; Melgar Valdés et al., 2013). Los valores de pH observados en esta investigación concuerdan con los resultados de estudios previos



Figura 4. Parte de la zona en estudio. Fotografía tomada por el equipo de investigación.

realizados en diferentes ecosistemas acuáticos de la zona (Holguín et al., 2006; Gutiérrez et al., 2008; Rubio Arias et al., 2011; Rubio Arias et al., 2012). Con respecto a los niveles de CE, la mayor concentración en VZ se puede explicar por la disolución del material geológico presente en la zona (Miyamoto et al., 1995) y un efecto de dilución al momento de llegar a la presa La Boquilla. Los resultados encontrados en este estudio son menores a los reportados por otros investigadores en diferentes segmentos del río Conchos. Por ejemplo, Gutiérrez y Carreón Hernández (2004) notaron niveles tan altos como $2,080 \mu\text{S cm}^{-2}$ en un punto que recibía descargas urbanas y agrícolas, pero que disminuían hasta $1,050 \mu\text{S cm}^{-2}$ al llegar a un centro receptor (presa Luis L. León).

La T detectada en los tres sitios concordó con las condiciones climáticas de la temporada invernal en la región. No obstante, el valor en el agua de la presa se debió a que la toma de muestras se realizó a horas del amanecer, lo que ocasionó una variación con respecto a los demás sitios de muestreo. Preece y Jones (2002) mencionaron que el agua a nivel superficial se vuelve más densa en el período invernal, lo que ocasiona temperaturas bajas en el recurso hídrico. Sin embargo, estos cambios también se pueden atribuir a que en los ecosistemas acuáticos, esta variable se rige con base en la temperatura ambiente, flujos de agua (entrada/salida) y el tiempo que dura el agua en la presa (Arbat Bofill et al., 2014). Los investigadores Webb et al. (2008) señalaron que el agua que es liberada de una presa suele ser más fría que dentro y fuera del cuerpo de almacenamiento debido a los cambios térmicos que ocurren por la estratificación



Figura 5. Se estudia la calidad del agua en el río Conchos. Fotografía tomada por el equipo de investigación.

del vital líquido. De esta manera, se corrobora el valor encontrado después de este reservorio. Es importante mencionar que las variaciones en T tienen una influencia directa sobre la composición química del agua y una correlación directa con el OD (Preece y Jones, 2002; Rubio Arias et al., 2013). Para el parámetro de SDT, el valor más alto que se observó en la localidad de VZ está indicando la presencia de una mayor cantidad de iones solubles en su mayor parte orgánicos, que están siendo transportados en el caudal, lo que se demostró con la correlación que se detectó entre las variables de SDT y CE ($P < 0.05$). El bajo valor observado en la presa de SDT (Figura 2c) refleja el proceso de sedimentación que ocurre en el ecosistema y la poca velocidad que se presenta en el caudal (Caruso, 2002).

Está bien documentado que la concentración de metales en agua puede representar un serio peligro para la vida acuática. Por ejemplo, el Al puede conllevar un peligro cuando se tiene un pH menor de 6 (CCREM, 1987), por lo que los resultados de este estudio infieren que este elemento no está afectando la fauna acuática de este ecosistema. No obstante, sin considerar el valor de pH, la concentración de Al potencialmente representa un factor de riesgo para la vida acuática, debido a que los valores observados superan lo establecido en la normatividad CE-CCA-001/89 para agua dulce y protección de vida acuática que es de 0.05 mg l^{-1} (SEDUE, 1989). Es importante mencionar que el agua del río Conchos puede ser utilizada para el riego agrícola y uso pecuario debido a que los niveles de Al cuantificados se encuentran por debajo

de los criterios establecidos por la normatividad mexicana, que es de 5 mg l^{-1} (SEDUE, 1989; NOM, 1993). Este elemento puede ser movilizado de suelos y sedimentos por el lixiviado natural, por lo que la mayor concentración en SFC puede ser explicado por la movilización natural de este elemento y, tal vez, por una acción antropogénica, ya que el agua de la presa recibe escorrentías suministradas tanto por la cabecera municipal de Valle de Zaragoza como por la zona agrícola establecida en la parte superior de la presa.

Los resultados de este estudio muestran que el nivel de B en los tres sitios no superó los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana CEECA-001/89 de usos del agua, que establece un límite de 1.0 mg l^{-1} (SEDUE, 1989). Del mismo modo, dichos valores se encuentran por debajo de los niveles permisibles para agua de consumo humano y/o animal, que es 0.5 mg l^{-1} (Tagliabue et al., 2013; Kochkodan et al., 2015). Es importante mencionar que en un estudio previo en el río Conchos, realizado por Holguín et al. (2006), se reportaron niveles similares al presente estudio, con una media de 0.1944 mg l^{-1} , lo que ejemplifica que las concentraciones de B en el agua del Conchos han sido constantes con el paso del tiempo. La presencia de B en el agua superficial puede ocurrir de manera natural (geo-hidrología) o por efectos antropogénicos. Por ejemplo, las potenciales fuentes de contaminación de origen humano son la industria minera, la metalurgia y las actividades agropecuarias (Tagliabue et al., 2013; Kochkodan et al., 2015).

Con respecto al elemento Ca, este se encuentra en ciertos tipos de roca como calizas y dolomitas y se considera esencial para el ser humano; donde de hecho, es el elemento más abundante en el cuerpo



Figura 6. Toma del río Conchos, en Chihuahua, México.



Figura 7. Las concentraciones de Cr obtenidas permiten inferir que el agua del río Conchos se encuentra dentro de los límites permitidos por la normatividad mexicana para su utilización en el sector agropecuario. Fotografía tomada por el equipo de investigación.

humano. No obstante, un exceso de Ca puede provocar en el hombre el desarrollo de piedrecillas en los riñones o esclerosis y taponamientos de venas y arterias (NIH, 2013). En el caso particular de peces y organismos acuáticos, un exceso de Ca no parece ser perjudicial (Brooks et al., 2003). No existen a la fecha restricciones en alguna normatividad nacional o extranjera para las concentraciones de este elemento, por lo que el agua de esta sección del río Conchos puede ser utilizada en diferentes actividades. Otras investigaciones en la parte baja del río Conchos han detectado mayores valores de Ca con niveles de 137.50 mg l^{-1} (Gutiérrez et al., 2008), de 202.74 mg l^{-1} (Holguín et al., 2006) y de 319.0 mg l^{-1} (Gutiérrez y Carreón Hernández, 2004) en comparación con los reportados en este estudio.

Las concentraciones de Cr obtenidas permiten inferir que el agua del río Conchos se encuentra dentro de los límites permitidos por la normatividad mexicana para su utilización en el sector agropecuario (1.0 mg l^{-1}) sin límites para la protección de la vida acuática (SEDUE, 1989; NOM, 1993). La mayor concentración en PB (Figura 3b) posiblemente se explique por el arrastre de Cr de la parte alta de la presa, ya que su presencia se ha relacionado con la aplicación de fertilizantes y pesticidas (Charef et al., 2011). Con respecto a Mg, a la fecha no existen restricciones para sus niveles, incluyendo el suministro de agua potable, por lo que el agua se puede considerar como segura para cualquier uso. Otros estudios en la cuenca hidrológica han reportado niveles de 16.10 mg l^{-1} y 45.0 mg l^{-1} (Rubio Arias et al.,



Figura 8. En el estudio realizado se encontró que el agua es apropiada, en general, para el florecimiento de la vida acuática y del ecosistema en su conjunto. Fotografía tomada por el equipo de investigación.

2004; Holguín et al., 2006) e incluso niveles de 106.33 mg l⁻¹ en el río Chuvíscar, el cual recibe descargas urbanas de la ciudad de Chihuahua. Al igual que para Mg, no existen restricciones para los niveles de Mn incluyendo el agua potable, por lo cual se garantiza su utilización en cualquier proceso. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que valores superiores a 0.4 mg l⁻¹ podrían ocasionar problemas de mortalidad en niños (Beckman et al., 1985); sin embargo, es importante mencionar que el agua de esta zona no se utiliza como agua potable.

Otros estudios en la misma cuenca han encontrado niveles superiores a los del presente trabajo (Holguín et al., 2006; Rubio Arias et al., 2010).

La presencia de Na en agua ha sido relacionada con descargas agrícolas (Orzepowski y Polikowski, 2008), con la estructura litológica (O'Connor et al., 2010) y el material geológico (Gutiérrez y Carreón Hernández, 2004). La mayor concentración en VZ y en SFC puede ser explicada por el hecho de que este ion se encuentra formando sales disueltas y una vez que el agua es captada, en este caso en la presa, se presenta un efecto de precipitación. Con referencia a los niveles de Pb aquí reportados, éstos concuerdan con los obtenidos por otros investigadores quienes desarrollaron trabajos en la misma cuenca (Gutiérrez et al., 2008). Los niveles de Se no superaron lo establecido en normas nacionales e internacionales, para riego agrícola que es de 0.02 mg l⁻¹ (NOM-CCA/032-ECOL/1993), por lo cual se infiere que el agua puede ser utilizada para estos fines.

CONCLUSIONES

Se concluye que existen diferencias estadísticas para la calidad del agua en las tres localidades respecto a las variables de T, CE, SDT; así como en la concentración de los metales Al, B, Ca, Cr y Mg. No obstante, y derivado de los niveles de las variables evaluadas, se concluye que el agua es apropiada, en general, para el florecimiento de la vida acuática y del ecosistema en su conjunto. Se recomienda monitorear y vigilar la concentración de elementos que fueron considerados altos en este estudio, una manera de estrategia preventiva, como sería el caso del Al.

LITERATURA CITADA

- ARBAT BOFILL, M. et al. Hydrodynamics of Ribarroja Reservoir (Ebro River, Spain): Water temperature, water velocities and water age. In A. J. Schleiss et al. (Eds.), *River Flow 2014* (pp. 1737-1744). CRC Press, 424 pp., 2014.
- BECKMAN, R. A. et al. On the fidelity of DNA replication, manganese mutagenesis *in vitro*. *Biochemistry*, 24(21): 5810-5817, 1985.
- BROOKS, K. N. et al. *Hidrology and Management of Watersheds*. 3a. ed. Iowa, US: Blackwell Publishing, 2003.
- CARUSO, B. S. Temporal and spatial patterns of extreme low flows and effects on stream ecosystem in Otago, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 257, 115-133, 2002.
- CCREM (CANADIAN COUNCIL OF RESOURCE AND ENVIRONMENT MINISTERS). *Canadian Water Quality Guidelines*. Informe preparado por Task Force on Water Quality Guidelines, 1987.
- CHAREF, A. et al. Irrigation water qualities-Soil pollution (heavy metals and salinity). In Mornag irrigation permiter (Sw Tunis, North Tunisia). In *Fifteenth International Water Technology Conference*. IWTC-15, 2011, Alexandria, Egypt, 2011.

- CNA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). *Estadísticas del agua en México, edición 2010. 10 años de presentar el agua en cifras*. D. F., México: SEMARNAT, marzo 2010.
- COLEGIO DE CHIHUAHUA (2007). *El agua en Chihuahua; un ejemplo de mala gestión*. Chihuahua, Chihuahua, México: Colegio de Chihuahua, Estudios ambientales, A. C., octubre de 2007.
- DEAN, D. J. y SCHMIDT, J. C. The role of feedback mechanisms in historic channel changes of the lower Rio Grande in the Big Bend Region. *Geomorphology*, 126, 333-349, 2011.
- GLEICK, P. H. et al. *The World's Water 2002-2003: The biennial report on freshwater resources*. Washington, US: Island Press, 334 pp., 2002.
- GUTIÉRREZ, M. y BORREGO, P. Water quality assessment of the Rio Conchos, Chihuahua, Mexico. *Environment International*, 25(5): 573-583, 1999.
- GUTIÉRREZ, M. y CARREÓN HERNÁNDEZ, E. Salinidad en el bajo Río Conchos: aportes y tendencias. *Terra Latinoamericana*, 22(4): 499-506, 2004.
- GUTIÉRREZ, R. et al. Heavy metals in water of the San Pedro River in Chihuahua, Mexico and its potential health risk. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5(2): 91-98, 2008.
- HERNÁNDEZ, G. et al. Evaluación de la contaminación por metales pesados en agua y sedimento de la presa La Boquilla; Fco. I. Madero y Luis L. León, Chihuahua, durante cuatro temporadas climáticas. *Memorias. VI Congreso Internacional y XII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales*. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México, 6, 7 y 8 de junio de 2007.
- HOLGUÍN, L. C. et al. Calidad del agua del río Conchos en la región de Ojinaga, Chihuahua: parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides. *Universidad y Ciencia*, 22(1): 51-63, 2006.
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). *Anuario Estadístico del estado de Chihuahua*. México: Autor, 1998.
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). *Síntesis de Información Geográfica del estado de Chihuahua. Censo 2005*. México: Autor, 2005.
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). *Síntesis de Información Geográfica del estado de Chihuahua*. México: Autor, 2003.
- KELLY, M. E. *El Río Conchos: un informe preliminar*. Austin, Texas, US: Texas Center for Policy Studies, 34 pp., 2001.
- MELGAR, V. C. E. et al. Efecto de microorganismos con potencial probiótico en la calidad del agua y el crecimiento de camarón *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en cultivo intensivo. *Revista de Biología Tropical*, 61(3): 1215-1228, 2013.
- MIYAMOTO, S. et al. *Flow of salts and trace elements in the Rio Grande System*. College Station, TX, US: Texas Agriculture Experimental Station-Texas Water Resources Institute, 1995.
- MOSLEY, L. M. Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. *Earth Science Reviews*, 140, 203-214, 2015.
- O'CONNOR, M. et al. Multi-element analysis and geochemical spatial trends of groundwater in rural northern New York. *Water*, 2, 217-238, 2010.
- ORZEPOWSKI, W. y PULIKOWSKI, K. Magnesium, Calcium, Potassium and Sodium content in groundwater and surface water in arable lands in the commune (Gmina) of Katy Wroclawskie. *J. Elementol.*, 13(4): 605-614, 2008.
- RUBIO, A. H. O. y JIMÉNEZ, J. A. *Estadística aplicada con análisis en Minitab*. Chihuahua, Chihuahua, México: Editorial de la Universidad Autónoma de Chihuahua y Sindicato de Maestros de la Universidad, abril de 2012.
- RUBIO ARIAS, H. et al. An Overall Water Quality Index (WQI) for a Man-Made Aquatic Reservoir in Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(5): 1687-1698, 2012.
- RUBIO ARIAS, H. et al. Coliform and Metal Contamination in Lago de Colina, a Recreational Water Body in Chihuahua State, Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(6): 2386-2400, 2011.
- RUBIO ARIAS, H. et al. Development of a water quality index (WQI) of an artificial aquatic ecosystem in Mexico. *Journal of Environmental Protection*, 4, 1296-1306, 2013.
- RUBIO ARIAS, H. et al. Metal contamination of a riparian area in the Conchos watershed in Chihuahua, México. *Water Resources Management III*. Algarve, Portugal, April 11-13, 2005. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 80, 269-275, 2005.
- RUBIO ARIAS, H. et al. Water Pollution in the Rio Conchos of Northern Mexico. In G. Latini et al. (Eds.), *Development and Application of Computer Techniques to Environmental Studies X* (pp. 167-176). UK: WitPress, 2004.
- SANSAWAT, A. y THIRABUNYANON, M. Anti-aeromonas hydrophila activity and characterisation of novel probiotic strains of *Bacillus subtilis* isolated from the gastrointestinal tract of giant freshwater prawns. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 3(1): 77-87, 2009.

- SEDESOL (SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL). Norma Mexicana CCA/032-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición como riego agrícola. *Diario Oficial de la Federación*, 18 de octubre de 1993.
- SEDUE (SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA). Criterios ecológicos de calidad de agua CE-CCA-001/89SEDUE. *Diario Oficial de la Federación*, 13 de diciembre de 1989.
- TAGLIABUE, M. et al. Boron removal from water: needs, challenges and perspectives. *Journal of Cleaner Production* (número especial titulado Emerging Industrial Processes for Water Management), 56-64, 2014.
- WEBB, B. W. et al. Recent advances in stream and river temperature research. *Hydrological Processes*, 22(7): 902-918, 2008.

De páginas electrónicas

- KOCHKODAN, V. et al. The chemistry of boron in water. 2. *Boron Separation Processes* (pp. 35-63). Elsevier, 2015. doi: 10.1016/B978-0-444-63454-2.00002-2
- NIH (NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH). *Office of Dietary Supplements. Health Information*. 2013. Recuperado el 21 de marzo de 2013, de <http://ods.od.nih.gov/factsheets/calcium-consumer>
- ONU (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS). *Declaración Universal de los Derechos Humanos*. Recuperado de <http://www.un.org/es/universal-declaration-human-rights/>
- PREECE, R. M. y JONES, H. A. The effect of keepit dam on the temperatura regime of the Namoi River, Australia. *River Research and Applications*, 18(4): 397-414, 2002. doi: 10.1002/ra.686
- RUBIO ARIAS, H. et al. Contamination of the Conchos River in Mexico: Does it pose a health risk to local residents? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(5): 2071-2084, 2010. doi: 10.3390/ijerph7052071
- SCFI (SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL). NMX-AA-007-SCFI-2000. Análisis de agua-Determinación de la temperature en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-007-1980). Recuperado de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-007-SCFI-2000.pdf>
- SCFI (SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL). NMX-AA-014-1980. Norma Mexicana. Cuerpos receptores. Muestreo. México, D. F., 1980. Recuperado de <http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/14%20NMX-AA-014-1980%20Cuerpos%20receptores-Muestreo.pdf>
- SCFI (SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL). NMX-AA-008-SCFI-2000. Análisis de agua-Determinación del pH-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-008-1980). Recuperado de <http://www.agua.org.mx/biblioteca-tematica/marco-juridico-del-agua/1466-normas-mexicanas/15150-nmx-aa-008-scfi-2000-analisis-de-agua-determinacion-del-ph-metodo-de-prueba->
- SCFI (SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL). NMX-AA-051-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-051-1981). Recuperado de <http://www.agua.org.mx/biblioteca-tematica/marco-juridico-del-agua/1466-normas-mexicanas/15242-nmx-aa-051-scfi-2001-analisis-de-agua-determinacion-de-metales-por-absorcion-atomica-en-aguas-naturales-potables-residuales-y-residuales-tratadas-metodo-de-prueba>
- SCFI (SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL). NMX-AA-093-SCFI-2000. Análisis de agua-Determinación de la conductividad electrolítica-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-093-1984). Recuperado de <http://www.agua.org.mx/biblioteca-tematica/marco-juridico-del-agua/1466-normas-mexicanas/15321-nmx-aa-093-scfi-2000-analisis-de-agua-determinacion-de-la-conductividad-electrolitica-metodo-de-prueba>

Uso de sondeos electromagnéticos en la caracterización hidrológica del acuífero del altiplano de Tula, Tamaulipas

The use of electromagnetic soundings for the hydrological characterization of the aquifer of the highlands of Tula, Tamaulipas

Óscar Guevara Mansilla¹, René Ventura Houle^{1*}, Elizabeth del Carmen Andrade Limas¹

Guevara Mansilla, O., Ventura Houle, R., Andrade Limas, E. C. Uso de sondeos electromagnéticos en la caracterización hidrológica del acuífero del altiplano de Tula, Tamaulipas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 23-30, enero-abril 2017.

RESUMEN

Las técnicas de exploración mediante sondeos electromagnéticos consisten en transmitir un campo magnético, el cual viaja a través del subsuelo, la disminución del campo electromagnético está asociada a la resistividad de la litología presente, lo que permite identificar materiales con posibilidades de contener agua, así como el volumen de los mismos. Esto en conjunto con variables hidrogeológicas funciona como gran apoyo al momento de gestionar adecuadamente el uso del agua subterránea. Se realizaron 40 sondeos en el altiplano de Tula, Tamaulipas, región cuya única fuente hídrica viable es el agua subterránea. Se identificaron tres unidades hidrogeológicas, en las cuales se estableció una zona sin capacidad para almacenarla, otra con baja capacidad para el mismo objetivo y la tercera, que es una unidad de transporte, lo que indica que los afloramientos de la formación geológica El Abra son la zonas de recarga del sistema acuífero.

ABSTRACT

The time domain electromagnetic surveys consist of transmitting an electric field, which travels through

Palabras clave: sondeos electromagnéticos, hidrogeología, gestión de agua, geofísica, acuífero.

Keywords: electromagnetic soundings, hydrogeology, water management, geophysics, aquifer.

Recibido: 10 de agosto de 2015, aceptado: 21 de julio de 2016

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.

* Autor para correspondencia: rventura@uat.edu.mx

geological materials whose resistivity such emission as lithology, is measured allowing to identify materials likely to contain water and the volume thereof. This, together with hydrogeological variables, works as great support when properly managing groundwater use. Forty wells were drilled in the highlands of Tamaulipas Tula region, whose only viable water source is groundwater. Three hydrogeological units, where an area was identified without water storage capacity, another with low capacity to hold water and the third as a unit of transportation, indicating that the outcrops of the geological formation El Abra, are the recharge areas of the aquifer system.

INTRODUCCIÓN

Una de las técnicas geofísicas con mayor aplicación en la exploración del agua subterránea son los sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TDEM, por sus siglas en inglés). Estos consisten en hacer circular un campo eléctrico alrededor de una bobina transmisora en periodos de tiempo de milisegundos. Durante el periodo de conexión se establece un campo magnético estable en el subsuelo, y cuando este se corta de forma instantánea, el campo electromagnético causa corrientes parásitas que se propagan en el terreno. Como consecuencia de pérdidas de resistencia calórica estas corrientes disminuyen con el tiempo provocando un campo magnético decreciente en la superficie, el cual puede ser medido. Cuando en el subsuelo hay cuerpos de conductividad eléctrica elevada, la atenuación de las corrientes parásitas es significativamente menor que en materiales dieléctricos; por tanto, la medida de la relación de decrecimiento del campo secundario proporciona

una forma de detectar la presencia de cuerpos conductores en el subsuelo, así como estimar su conductividad y resistividad (Casas, 2000).

Es de esta forma que los TDEM muestran la distribución del subsuelo en términos de homogeneidad, basados en la caracterización resistiva. En las secciones del subsuelo ha sido posible observar las heterogeneidades debidas a estructuras geológicas, cambios de facies y fracturación de la roca, donde además la presencia del agua provoca cambios importantes en la resistividad eléctrica (Navarro Luna, 2006). Los TDEM han sido utilizados en Omán y México por Young et al. (1998) y Ramos Leal et al. (2007) con el propósito de definir la geometría de los acuíferos; en Grecia por Kanta et al. (2013), para conocer las características hidrogeológicas del acuífero; en Guatemala, donde Lepper y Curtis (2005) utilizaron los TDEM para localizar agua subterránea; en Arabia Saudita y Egipto, Al Garni y El Kaliouby (2011) y Khalil et al. (2013) los utilizaron para el mapeo de la intrusión marina. Todos estos trabajos con el fin de identificar áreas óptimas para la extracción de agua subterránea.

La zona acuífera del altiplano de Tula se encuentra en una planicie intermontana de la Sierra Madre Oriental, al suroeste del estado de Tamaulipas, México, y forma parte del acuífero Tula-Bustamante, que corresponde a la Región Hidrológica No. 37, El Salado (CONAGUA, 2002). La zona presenta un clima semiárido con precipitaciones anuales de 400 mm y temperaturas que varían durante el año desde 0 °C hasta 40 °C (Gobierno del estado de Tamaulipas, 2011). A causa de las bajas precipitaciones, los cuerpos de agua superficiales son escasos e intermitentes, lo que hace del acuífero del altiplano de Tula el recurso hídrico más importante para 27,500 personas que habitan en la región, y que tienen como principal actividad económica la agricultura y ganadería (INEGI, 2011). De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (s. f.), el incremento de la superficie sembrada bajo condiciones de riego de 735 ha (2003) a 3,238 ha (2013), causó un aumento en el consumo de agua subterránea. Debido al alto impacto socioeconómico que tiene el acuífero del altiplano de Tula, es importante conocer su geometría, los materiales geológicos que lo integran y sus propiedades hidráulicas, con la finalidad de entender el funcionamiento e identificar las zonas de recarga y descarga de agua subterránea, así

como áreas óptimas para la perforación de pozos de agua.

Plata Torres (2000) menciona que las técnicas de prospección geofísica tienen un amplio rango de aplicaciones en la caracterización del agua subterránea, que van desde la definición de la geometría de los acuíferos hasta la determinación de las características hidráulicas relacionadas con la litología. Esto ha permitido la identificación de las unidades hidrogeológicas (UH) que conforman un acuífero, definidas por Sánchez San Román (2014) como el conjunto de formaciones geológicas con un funcionamiento hidráulico similar. Es por lo anterior que el presente trabajo tuvo como objetivo determinar las unidades hidrogeológicas que integran el acuífero del altiplano de Tula, esto mediante la recopilación de información de 40 TDEM, los niveles piezométricos de 12 pozos de extracción de agua subterránea e información hidrogeológica y estratigráfica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El altiplano de Tula es una planicie intermontana que se encuentra al poniente de la Sierra Madre Oriental en el municipio de Tula, Tamaulipas (Figura 1). Esta

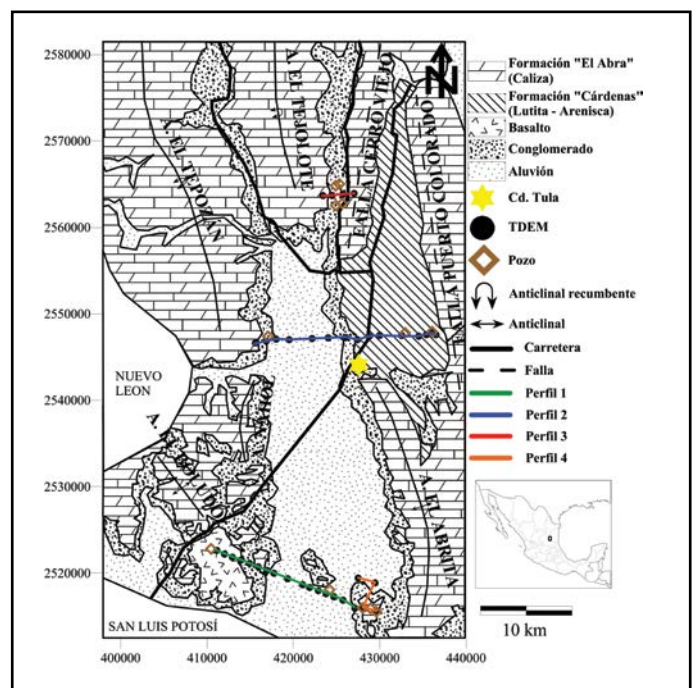


Figura 1. Geología de la zona de estudio, ubicación de los TDEM y pozos de interés.

región se encuentra constituida por afloramientos de diversos materiales geológicos que, debido a sus propiedades litológicas similares, son descritas como formaciones.

La formación más antigua que aflora en la zona de estudio es El Abra, del Cretácico Inferior, esta emerge para formar los anticlinales El Abrita, El Tepozán, El Tejolote, Nahol, El Boludo; así como las fallas Cerro Viejo y Puerto Colorado (SGM, 2006). Dicha formación es descrita por Carrillo (1961) como una plataforma de rocas sedimentarias arrecifales, como son calcilitas, calcarenitas y conglomerados calcáreos, masivos, de color crema ligeramente grisácea, con abundantes rudistas y fragmentos de otros macro y microfósiles. También aflora la formación Cárdenas (Tabla 1), que se encuentra constituida por una sucesión de 1,800 m de espesor de siliciclásticos finos con capas de calizas intercaladas que se depositaron en aguas someras en la plataforma Valles-San Luis Potosí a finales del Cretácico Superior (Oviedo García, 2005). La formación es descrita y dividida por Myers (1968) en tres miembros: inferior, medio y superior. En el miembro inferior predominan las calizas y también se presentan estratos de arcilla, arenisca y bioesparudita; el miembro medio está compuesto por intercalaciones de lutita, arenisca y caliza; y el miembro superior por areniscas, lutitas, caliza y marcas de ondulitas (también conocidas como *ripples*, su nombre en inglés). A las faldas de los anticlinales se encuentra material Conglomerado Reynosa (SGM, 2006), del periodo Terciario, constituido por sedimentos continentales con granulometrías que varían de arcillas a gravas;

estos son fragmentos de calizas, areniscas, pedernal y rocas ígneas que se engloban en una matriz arcillosa y cementados por carbonatos, sus espesores varían desde 10 hasta 30 m (SGM, 2008). Además, al suroeste aflora una brecha volcánica de los periodos Terciario-Cuaternario, dicha grieta se compone de basaltos de olivino vesiculares de textura holocristalina color gris oscuro (SGM, 2008). Por último se encuentra material aluvial del Cuaternario formando una llanura, este se presenta como clastos de granulometría que van desde tamaño arcilla hasta cantos rodados de 20 cm, producto de la desintegración de rocas preexistentes, principalmente calizas y lutitas (SGM, 2008).

Sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TDEM)

En el área de estudio se hicieron 40 TDEM con el equipo terraTEM (Figura 2), en cada punto se hicieron cinco mediciones, las cuales operaron con 8 A y un número creciente de ventanas en cada corrida, que fue de: 28, 30, 32, 34 y 36. La información obtenida fue procesada con el programa computacional WinGlink. Los TDEM se hicieron para abarcar todos los materiales geológicos superficiales de la zona, como se muestra en la Figura 1. A partir de los sondeos se formaron tres perfiles geoelectrónicos con longitudes de 19, 23 y 3.8 km con 800 m de profundidad cada uno, y otro perfil con longitud de 9 km y 500 m de profundidad; el tamaño de la bobina utilizada para llegar a una profundidad de 800 m fue de 225 por 225 m, y para alcanzar la profundidad de 500 m se utilizó una bobina de 150 por 150 m, ambas bobinas con configuración *loop* coincidente.

Tabla 1. Estratigrafía del municipio de Tula (SGM, 2006)

ÉRA	PERÍODO	ÉPOCA	PISO	FORMACIÓN	LITOLOGÍA	Ma		
CENOZOÍCO	CUATERNARIO	HOLOCENO		Aluvión		0.01		
		PLEISTOCENO		Basalto		1.68		
	TERCIARIO	NEÓGENO	PLIOCENO		Conglomerado Reynosa		5.1	
			MIOCENO				24.0	
			OLIGOCENO				36.0	
			EOCENO				55.0	
		PALEÓGENO	PALEOCENO		Lutita, arenisca y margas		67.0	
			MAASTRICHTIANO		Lutita y Margas calcáreas		71.5	
			SENONIANO	CAMPANIANO		Calizas y lutitas		83.0
				SANTONIANO				86.0
CONIACIANO				89.0				
MESOZOÍCO	CRETÁCICO	SUPERIOR	TURONIANO		Calizas arcillosas y lutitas carbonosas a arenosas	91.0		
			CENOMANIANO		Calizas arcillosas bioclásticas y arrecifales	97.5		
			ALBIANO		Complejo calcáreo		108.5	



Figura 2. Sondeo electromagnético en el dominio del tiempo realizado en el altiplano de Tula, con el equipo terraTEM y arreglo loop coincidente. Fotografía de René Ventura Houle.

Piezometría

Se midió el nivel piezométrico de 12 pozos de agua que se encontraban cerca de los perfiles geoelectrónicos (Figura 1) para relacionarlos con sus valores resistivos, ya que según Navarro Luna (2006)

la presencia de agua provoca cambios importantes en la resistividad eléctrica. Los niveles piezométricos fueron medidos con la sonda Solinist 102 (150 m de longitud). El procedimiento consistió en hacer bajar la sonda a través de los pozos de extracción de agua, como tiene carga eléctrica, al entrar en contacto con el agua completa un circuito que genera una alarma, la cual indica que se detenga el descenso de la sonda. Así se tomó la lectura del nivel piezométrico.

Correlación de la información obtenida

Se interpretó cada perfil geoelectrónico, se relacionaron los valores resistivos que los mismos presentan con los valores de resistividad comunes de algunos materiales geológicos que describen Goldman y Neubauer (1994) y se correlacionó esto con la geología superficial (SGM, 2006), como lo hicieron Aldama et al. (2002) y Cruz Falcón (2007).

RESULTADOS

Con base en la información recabada, el acuífero del altiplano de Tula se divide en cuatro unidades georesistivas definidas por el rango de resistividad eléctrica que presenta el subsuelo (Tabla 2).

Tabla 2. Unidades geoelectrónicas y su posible correlación de acuerdo con su intervalo georesistivo

Unidad geoelectrónica	Intervalo georesistivo (Ohm.m)	Posible correlación
U1	150 - 300	Se relaciona con calizas arcillosas y lutitas calcáreas.
U2a	5 - 30	Unidad que se asocia con materiales geológicos que almacenan agua.
U2b	30 - 150	Se interpreta como rocas ígneas máficas fracturadas (basalto), o también se reconoce como rocas sedimentarias detríticas (lutitas y areniscas).
U3	300 - 6000	Corresponde a materiales calcáreos como calizas y dolomías o rocas ígneas basálticas.

Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Perfil 1

Tiene una distancia de 20 km (Figura 1) con dirección este-oeste y una profundidad de 800 m (Figura 3: a y b). A la izquierda de este perfil, entre los kilómetros 0 y 10, emerge a la superficie una brecha volcánica, que se corrobora con la geología superficial debido a que en la zona se observan rocas basálticas (SGM, 2006). Estas se encuentran representadas por las unidades U3, U2b y U2a, las cuales se identifican

como basalto, basalto fracturado y basalto saturado de agua, respectivamente; este último se confirma por los valores resistivos a la profundidad del nivel piezométrico de un pozo de extracción de agua ubicado sobre dicho material (Figuras 1 y 3: a y b).

La unidad georesistiva U2a a la derecha del perfil 1 (Figura 3a) es identificada por la geología superficial como material aluvial (SGM, 2006), este es producto de la desintegración de las rocas circundantes (SGM, 2008). A pesar de que el material aluvial presenta una

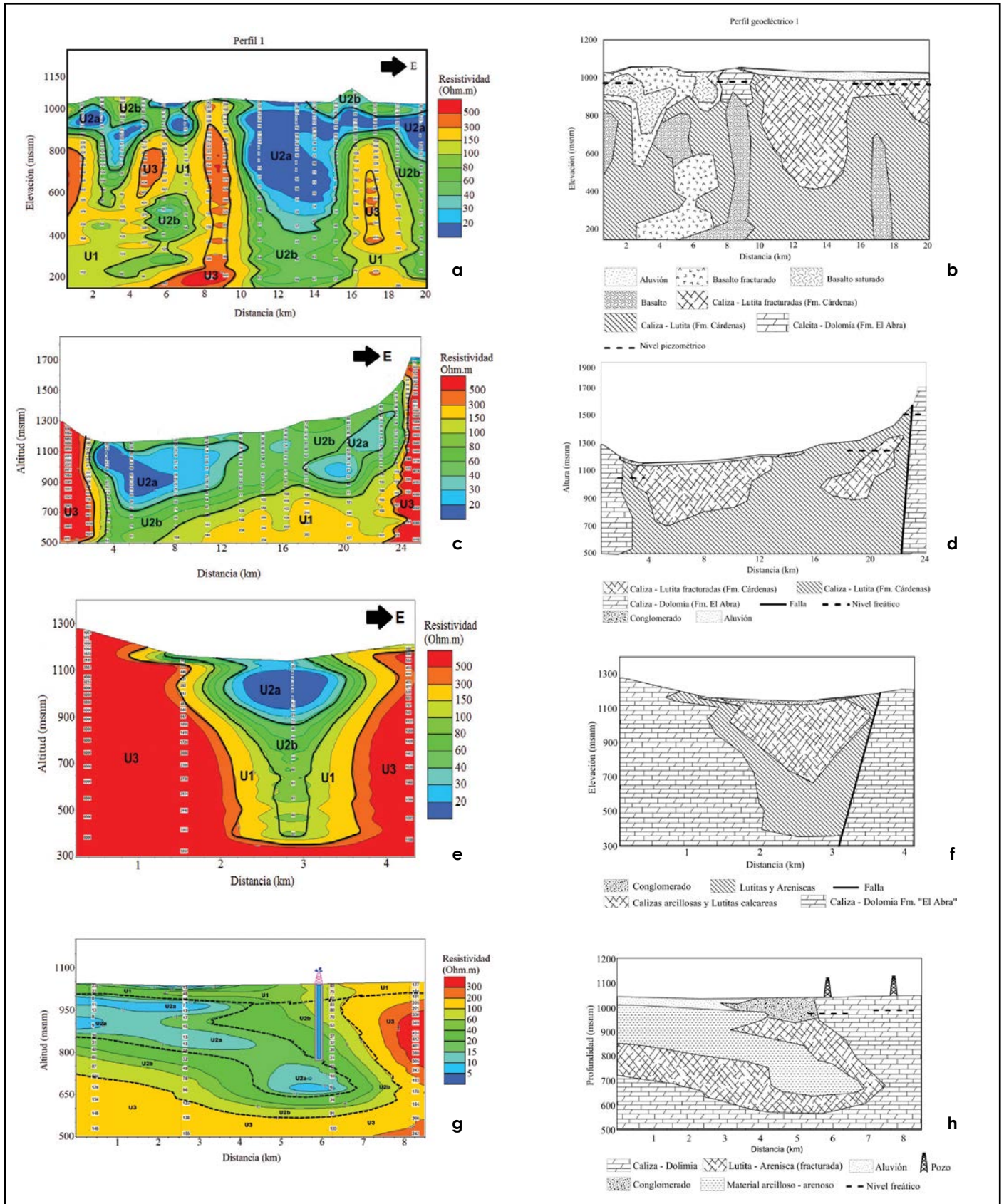


Figura 3. Perfiles geoelectricos e interpretación de materiales representados.

resistividad baja debido a la presencia de agua, no está saturado, ya que el nivel freático se encuentra a 69.5 m de profundidad en los pozos cercanos al perfil, cuando el espesor del material aluvial es de 30 m y se localiza en la superficie (SGM, 2008); esto indica que el material aluvial sirve como zona de recarga vertical del acuífero.

Por debajo de la unidad U2a descrita anteriormente se encuentran las unidades U2b y U1, las mismas se identifican como la formación Cárdenas; sin embargo, presentan rangos de resistividad mayores debido a la ausencia de fracturas y agua. Esta formación se ve deformada a la derecha por un intrusivo de roca volcánica representada por la unidad U3.

Perfil 2

Las Figuras 3: c y d representan una longitud de 24 km con dirección este-oeste y una profundidad de 800 m. Las unidades U3 a los extremos izquierdo y derecho del perfil 2 se encuentran compuestas por rocas calizas y dolomías, donde según la estratigrafía y la geología estructural (SGM, 2006, 2008) son pertenecientes a la formación El Abra del Cretácico Inferior, la cual aflora a la izquierda en el anticlinal Tepozán y a la derecha en la falla Puerto Colorado.

Las unidades U2a, U2b y U1 del perfil 2 (Figura 3c) representan a la formación Cárdenas, donde U2a se refiere a materiales saturados de agua, lo que se demuestra por la extracción de agua a 149 m de profundidad de un pozo cercano, y las unidades U2b y U1 presentan un mayor rango de resistividad debido a que se encuentran ausentes de fracturas y agua, o bien presentan una mayor compactación (Juanah et al., 2013). La formación Cárdenas aflora a la derecha del perfil como la unidad U2b y va descendiendo a la izquierda para ser cubierta por una capa de material aluvial y conglomerado (SGM, 2006).

La unidad U2a a la izquierda del perfil 2 (Figura 3c) tiene un espesor aproximado de 300 m, lo que le permite ser recargada de agua por sistemas de flujo locales, intermedios y regionales, los cuales se presentan a diferentes profundidades (Tóth, 1999) y tienen una composición química correspondiente al tiempo de su recorrido que va de acuerdo con la secuencia de Chevotareb (Sánchez, 2012); esto es comprobable por la presencia de agua de facies mixtas en la zona reportada por Saldierna (2014).

Del mismo modo, la unidad U2a a la derecha del perfil 2 (Figura 3c), con un espesor aproximado de 350 m, se ve afectada por flujos locales, intermedios y regionales. Esta unidad se encuentra en una zona que presenta agua con una composición química Na-mixta (Saldierna, 2014), que de acuerdo con la secuencia de Chevotareb corresponde a un flujo de agua regional; sin embargo, la presencia del ion Na^+ se atribuye principalmente a su disolución y abundancia (Sánchez San Román, 2012), presente en la formación Cárdenas debido a su origen sedimentario en aguas someras (Oviedo García, 2005).

Perfil 3

El tercer perfil (Figura 3: e y f) se encuentra ubicado en el sinclinal Calabacillas con dirección este-oeste, una longitud de 4 km y profundidad de 800 m. Las unidades georresistivas que dividen el perfil (Figura 3: e y f) adoptan la forma de los pliegues del sinclinal. El más antiguo corresponde a la unidad U3, esta unidad representa a la formación El Abra, la cual aflora a la izquierda para formar el anticlinal El Tejolote y a la derecha la falla Cerro Viejo (SGM, 2006).

Sobre la unidad U3 descansan los pliegues que conforman las unidades U1, U2b y U2a, en ese orden ascendente. Estas tres unidades se correlacionan con la formación Cárdenas, la cual se encuentra compuesta por lutitas, calizas y estratos de arcillas y areniscas (Myers, 1968); además Quilantán et al. (2008) ubica a esta formación en los núcleos de los sinclinales.

La unidad U2a, relacionada con materiales que contienen agua, tiene un espesor que va desde la superficie hasta los 300 m de profundidad; sin embargo, no se encuentra saturada de agua sino hasta los 120 m de profundidad, que es lo reportado por las mediciones piezométricas cercanas al perfil 3. A pesar de que la geología superficial reportada por el Servicio Geológico Mexicano (2006) muestra al sinclinal Calabacillas cubierto por conglomerado, este material solamente llega a tener espesores de hasta 30 m (SGM, 2008); por tanto, la formación Cárdenas es la responsable de almacenar agua en sus fisuras.

Perfil 4

El perfil 4 (Figura 3: g y h) se localiza a las faldas del anticlinal El Abrita y tiene forma de Z, como se muestra en la Figura 1, con una longitud de 9 km y una

profundidad de 500 m. A diferencia de los perfiles 1, 2 y 3 que se hicieron con el propósito de identificar los materiales geológicos presentes en el subsuelo, el perfil 4 se hizo con fines de exploración de agua subterránea, es por esto que la longitud y profundidad de este perfil es relativamente pequeña en comparación con los otros perfiles; sin embargo, sirvió de complementación y comparación del perfil 1.

A la derecha del perfil se encuentra un afloramiento de la formación El Abra (U3), donde hay dos pozos de agua con un nivel estático a 65 m de profundidad, lo que indica que la formación presenta una porosidad fisurada, esto explica su bajo valor resistivo. Como se ha mencionado anteriormente, sobre la formación El Abra descansa la Cárdenas, la cual se representa por la unidad U2b y U2a; esta última formación se interpreta como la describe Myers (1968), calizas que presentan estratos de arcilla, arenisca y bioesparudita; los cuales están cubiertos por la unidad U1, donde la geología superficial (SGM, 2006) indica la presencia de material aluvial y conglomerado.

La unidad U2a del perfil 4 (Figura 3g) tiene un espesor aproximado de 350 m, y al igual que el perfil

2, se encuentra en una zona donde el agua presenta una composición química mixta-mixta debido a la presencia de flujos de agua locales, intermedios y regionales (Saldierna, 2014).

CONCLUSIONES

Los sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo indican que el agua es almacenada en las fisuras de las rocas pertenecientes a la formación Cárdenas, la cual tiene como basamento a la formación El Abra. La misma, además de servir como basamento a la Cárdenas, tiene la capacidad de almacenar y transmitir agua como fue discutido en los perfiles 2 y 4; por tanto, probablemente los afloramientos de la formación El Abra recargan horizontalmente el acuífero, además de que el basamento del acuífero es aún desconocido a los 800 m de profundidad. En el área de estudio se identificaron tres unidades hidrogeológicas: las rocas basálticas fracturadas del perfil 1; las calizas y dolomías fisuradas de la formación El Abra; y las lutitas, areniscas y calizas de la formación Cárdenas; esta última se encuentra distribuida en todo el altiplano de Tula.

LITERATURA CITADA

- ALDAMA, A. A. et al. *Estudio hidrogeológico de los acuíferos El Hundido y Cuatro Ciénegas, Coah.* Reporte técnico. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 292 pp., 2002.
- AL GARNI, M. A. y EL KALIOUBY, H. M. Delineation of saline groundwater and sea water intrusion zones using transient electromagnetic (TEM) method, Wadi Thuwal area, Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 4(3): 655-668, 2011.
- CARRILLO, B. J. Geología del Anticlinorio Huizachal Peregrina al noroeste de Ciudad Victoria, Tamps. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 13, 1-98, 1961.
- CASAS, A. Prospección geofísica aplicada a la hidrogeología: Metodología y técnicas emergentes. En M. Olmo Alarcón y J. A. López Geta (Eds.), *Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeología* (pp. 33-41). España: Instituto Tecnológico Geominero de España, 2000.
- CONAGUA (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA). Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Tula-Bustamante Estado de Tamaulipas. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de abril de 2002.
- CRUZ FALCÓN, A. *Caracterización y diagnóstico del Acuífero de La Paz, B. C. S., mediante estudios geofísicos y geohidrológicos.* Tesis doctoral. México: Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, 139 pp., 2007.
- GOLDMAN, M. y NEUBAUER, F. M. Groundwater exploration using integrated geophysical techniques. *Surveys in Geophysics*, 15(3): 331-361, 1994.
- JUANAHA, M. S. E. et al. Groundwater resources assessment using integrated geophysical techniques in the southwestern region of Peninsular Malaysia. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(11): 4129-4144, 2013.
- KHALIL, M. A. et al. Application of VES and TDEM techniques to investigate sea water intrusion in Sidi Abdel Rahman area, northwestern coast of Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(8): 3093-3101, 2013.
- LEPPER, E. y CURTIS, A. Groundwater development in Lemoa, Guatemala. *Environmental Geology*, 48(1): 49-56, 2005.

- MYERS, R. L. Biostratigraphy of the Cardenas formation (Upper Cretaceous) San Luis Potosi, México. *Paleontología Mexicana*, 24, 1-89, 1968.
- NAVARRO LUNA, R. A. *Aplicación de pruebas electromagnéticas en el dominio de tiempo (TDEM) para caracterización de recursos hídricos en Venezuela*. Tesis de ingeniería. Venezuela: Universidad Simón Bolívar, 86 pp., 2006.
- OVIEDO GARCÍA, A. *Rudistas del Cretácico Superior del centro al sureste de México (recuento sistemático de rudistas americanos)*. Tesis doctoral. España: Universitat Autònoma de Barcelona, 123 pp., 2005.
- PLATA TORRES, J. L. Técnicas convencionales de geofísica de superficie aplicadas a la hidrogeología. En M. Olmo Alarcón y J. A. López Geta (Eds.), *Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeología*. España: Instituto Tecnológico Geominero de España, 21-32, 2000.
- QUILANTÁN PEDRAZA, A. et al. Plataforma Valles-San Luis Potosí y la cuenca Mesozoica del centro de México en el Cretácico medio y superior. *Boletín de Geociencias*, 2(4): 8-14, 2008.
- RAMOS LEAL, J. A. et al. Sucesión de eventos y geometría de la parte central del acuífero del graben de Villa de Reyes (San Luis Potosí, México) inferida a partir de datos geoeléctricos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24(1): 31-46, 2007.
- SALDIERNA, J. J. *Análisis hidrogeológico del altiplano de Tula como herramienta de gestión sustentable de recursos hídricos*. Tesis de maestría. México: Universidad Autónoma de Tamaulipas, 87 pp., 2014.
- SÁNCHEZ SAN ROMÁN, F. J. *Conceptos fundamentales de Hidrogeología*. España: Universidad de Salamanca, 11 pp., 2014.
- SÁNCHEZ SAN ROMÁN, F. J. *Evolución geoquímica de las aguas subterráneas*. España: Universidad de Salamanca, 9 pp., 2012.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). *Atlas de riesgo de los municipios de Antiguo Morelos, Nuevo Morelos, Ocampo y Tula del estado de Tamaulipas*. Reporte. México: Servicio Geológico Mexicano, 256 pp., 2008.
- SGM (SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO). *Carta geológico-minera estado de Tamaulipas, Escala 1:500,000*, 2006.
- TÓTH, J. Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeology Journal*, 7(1): 1-14, 1999.
- YOUNG, M. E. et al. Exploration of an alluvial aquifer in Oman by time-domain electromagnetic sounding. *Hydrogeology Journal*, 6(3): 383-393, 1998.

De páginas electrónicas

- GOBIERNO DEL ESTADO DE TAMAULIPAS. Tula [Portal electrónico]. 2011. Recuperado el 6 de marzo de 2015, de <http://tamaulipas.gob.mx/tamaulipas/municipios/tula/>
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). Información Nacional, por Entidad Federativa y Municipios. 2011. Recuperado el 16 de marzo de 2015, de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=28>
- KANTA, A. et al. Aquifer characterization using shallow geophysics in the Keritis Basin of Western Crete, Greece. *Environmental Earth Sciences*, 70(5): 2153-2165, 2013. doi: 10.1007/s12665-013-2503-z
- SIAP (SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA) Cierre de la producción agrícola por estado. s. f. Recuperado el 25 de marzo de 2015, de <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>

Influencia del magnesio y zinc en la altura de planta y verdor de hojas en *Lilium*

Influence of magnesium and zinc in plant height and leaf greenness in *Lilium*

María del Rosario Reyes Alemán¹, Omar Franco Mora^{1*}, Edgar Jesús Morales Rosales¹, Delfina de Jesús Pérez López¹

Reyes Alemán, M. R., Franco Mora, O., Morales Rosales, E. J., Pérez López, D. J. Influencia del magnesio y zinc en la altura de planta y verdor de hojas de *Lilium*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 31-37, enero-abril 2017.

RESUMEN

Se cultivó *Lilium* 'Acapulco' en agrolita bajo invernadero. Después de 20 d de plantación (DDP) y posteriormente cada 20 d hasta cosecha, se adicionaron 10 o 20 ml/maceta de solución Steiner aumentada 40 veces (SS × 40); además, a partir de 35 DDP y posteriormente cada 15 d, foliarmente se aplicaron 0-0; 72-80; 144-160 mg/l de zinc (Zn) y magnesio (Mg), respectivamente. La SS × 40-10 ml generó plantas 4 cm más altas y con índice de verdor de hoja (IVH) similar con respecto a SS × 40-20 ml. Zn y Mg 144 y 160 mg/l produjeron plantas 4 cm más altas y con 3 unidades SPAD más en relación con el control. En un segundo ciclo, a *Lilium* 'Serrada' fertilizada SS × 40-10 ml se le aplicaron foliarmente 0-0; 72-160; 144-80; 144-160; 288-320 y 432-480 mg/l Zn y Mg, respectivamente. Zn y Mg 72-160 mg/l, respectivamente, generaron plantas 9 cm más altas que el control, sin diferencia para IVH.

ABSTRACT

Lilium 'Acapulco' was cropped in perlite and under greenhouse conditions. After 20 days of sowing

Palabras clave: calidad de corte, crecimiento, fotosíntesis, nutrición, sustrato.

Keywords: flower cut quality, growth, photosynthesis, nutrition, substrate.

Recibido: 3 de noviembre de 2015, aceptado: 14 de septiembre de 2016

¹ Laboratorio de Horticultura, Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

* Autor para correspondencia: ofrancom@uaemex.mx

(DAS), and then every 20 days till harvest, fertilization with Steiner solution increased 40 times (SS × 40) at 10 or 20 ml/pot was performed; moreover, since 35 DAS, and then every 15 days, foliar application with 0-0; 72-80; 144-160 mg/l zinc (Zn) and magnesium (Mg), respectively was done. SS×40-10 ml generated plants 4 cm higher and with similar leaf green index (LGI) in relation to SS × 40-20 ml. Plants treated with Zn and Mg 144 y 160 mg/l were 4 cm higher and presented 3 SPAD units more than the control. In a second crop cycle, in *Lilium* 'Serrada' fertilized with SS × 40-10 ml/pot, foliar was applied 0-0; 72-160; 144-80; 144-160; 288-320 and 432-480 mg/l Zn and Mg, respectively. Zn and Mg at 72-160 mg/l respectively, generated plants 9 cm higher than control; without differences in LGI.

INTRODUCCIÓN

En el Estado de México, el cultivo de lilis o *lilium* (*Lilium* spp.) se ha posicionado en los primeros cinco lugares de producción e impacto económico (SAGARPA, 2012). Sin embargo, la información sobre dosis adecuadas de fertilización aún es insuficiente, lo que propicia que en ocasiones los productores del sur del Estado de México apliquen dosis excesivas de fertilización, con lo que se genera contaminación ambiental y aumento del costo de producción (Franco Mora et al., en prensa). El correcto manejo de la nutrición vegetal, incluyendo la adición de micronutrientes, modula aspectos de calidad ornamental; es decir, color, tamaño, olor, producción de metabolitos secundarios, vida poscosecha, etc. (Rodríguez Landero et al., 2012; Ying et al., 2014). La calidad del producto influye

en la relación costo beneficio; por ejemplo, en la Comunidad Económica Europea, la longitud del tallo de *Lilium* determina su clasificación en segunda (80-70 cm), primera (90-80 cm), extra (100-90 cm) y super extra (más de 100 cm) (Bañón Arias et al., 1993).

Ortega Blu et al. (2006) indicaron que las recomendaciones nutricionales varían dependiendo del cultivar de *Lilium*, ya que hay respuesta diferenciada por genotipo. Así, para *Lilium* 'Miami' y 'Navona', en función de su estado de desarrollo, se recomendó la aplicación al sustrato de nitrógeno (N), óxido de fósforo (P_2O_5), óxido de potasio (K_2O) y calcio (Ca) a 16.5, 4.4, 14.1 y 2.6 g/m², respectivamente; mientras que para *Lilium* 'Fangio' la recomendación fue de 15.3 N, 4.3 P_2O_5 , 16.8 K_2O y 2.6 Ca en g/m². La aplicación del fertilizante Multicote™ (16 N: 18 P_2O_5 ; 21 K_2O 16.8 + 3 óxido de magnesio (MgO)) (Haifa, México) en el sustrato, al inicio del cultivo de *Lilium* 'Le Reve', 'Acapulco', 'Sorbonne' y 'Siberia', a dosis de 0, 2 y 4 g/l, y posteriormente, durante el periodo vegetativo de la solución de Peters (15 N: 11 P_2O_5 ; 29 K_2O) en concentraciones de 2 g/l incrementó el índice de verdor en las hojas, expresado en unidades del análisis del desarrollo suelo-planta, SPAD, por sus siglas en inglés (*Soil Plant Analysis Development*) (Treder, 2005).

Particularmente, la fertilización nitrogenada aumentó las concentraciones de terpenos, ésteres y aldehídos como 1,8-cineol, β -ocimeno, linalool, metil benzoato, 2,4 dimefil benzaldehído y nonanal en *Lilium* 'Starfighter' (Salazar Orozco et al., 2013). La concentración de 504 mM/l de potasio (K) en la solución nutritiva generó mayor tamaño de flor y altura del tallo en *Lilium* 'Arcachon' (Barrera Aguilar et al., 2013). La vida en florero se incrementó con la adición cada 20 d de 56 mg N y 68 mg Ca por maceta en *Lilium* 'Menorca' (Franco Mora et al., en prensa).

La fertilización foliar en *Lilium* es complementaria a la adición de fertilizantes al sustrato y se recomienda, especialmente, cuando disminuyen las tasas fotosintética y de absorción de nutrientes por las raíces (Betancourt Olvera et al., 2005). La combinación de una solución nutritiva más la aspersión de sulfato de potasio 2 g/l y sacarosa 2 g/l a 30 y 20 d antes de la cosecha durante el invierno, y 20 y 10 d antes en verano, mejoró el color de la flor en *Lilium* 'Fangio', 'Tresor', 'Brindisi' y 'Menorca' (Burchi et al., 2010). Betancourt Olvera et al. (2005),

al aplicar en *Lilium* una fórmula foliar compuesta de N, fósforo (P), K, azufre (S), (Zn), cobre (Cu), boro (B), manganeso (Mn) y hierro (Fe), cada uno a 1%, pH de 4.5 y adición de miel de abeja 0.1% como adherente, incrementó el índice de verdor de la hoja y el peso fresco de la planta; la fórmula foliar moduló los días a diferenciación floral y días a floración.

El programa de fertilización de *Lilium* bajo invernadero de la Universidad Autónoma del Estado de México tiene el objetivo de establecer fórmulas de fertilización que permitan incrementar la calidad hortícola de dicha especie, a la vez que comprender los efectos particulares de los nutrientes. A las fórmulas de fertilización al sustrato implicando N, paulatinamente se les adicionan nutrientes vía foliar, por ejemplo, Ca y B, nutrientes con los que se incrementó vida de florero (Franco Mora et al., 2008; Rodríguez Landero et al., 2012; Franco Mora et al., en prensa). En este reporte se analizó el efecto de la aplicación foliar de Zn y Mg, ya que existe información de los beneficios de su aplicación en cultivares de *Lilium*, pero es necesario ampliar el estudio en otros cultivares y zonas de producción (Betancourt Olvera et al., 2005; Barrantes Infante y Bertsch, 2012).

El Mg está involucrado directamente en la reacción fotosintética y el metabolismo glucídico en la planta, además activa enzimas que intervienen en la síntesis de los ácidos nucleicos (Devlin, 1976); por tanto, es factible suponer su injerencia en el verdor de las hojas. Particularmente en lilis, el manejo correcto del Mg puede resultar más barato que la adición de productos basados en hormonas vegetales para mantener el verdor de las hojas en poscosecha (Whitman et al., 2001). En *Heliconia psittacorum* la limitación del Mg deriva en falta de crecimiento, a este efecto solamente lo supera la falta de N (Matos et al., 2014). Por otra parte, la nutrición con Zn ha beneficiado el crecimiento de planta, la producción y características florales del gladiolo (*Gladiolus* spp.) (Saeed et al., 2013). Es un elemento activador de las enzimas deshidrogenasa, superóxido dismutasa y ARN polimerasa; además, su deficiencia reduce la fotosíntesis neta (Rashid, 1996). En cultivos no ornamentales, como trigo (*Triticum aestivum* L.), la aplicación foliar de Zn aumentó la producción 40% (Yilmaz et al., 1997). Por tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto en tamaño de tallo y verdor de hojas de *Lilium* con fertilización al sustrato con diferentes dosis de la solución de Steiner (1961) y foliar a base de Mg y Zn.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones generales del cultivo

En la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, México, ubicada a los 19° 24' 29.32" norte y 99° 41' 22.39" oeste, se estableció *Lilium* 'Acapulco', calibre 18-20, del 20 de abril al 3 de agosto de 2012, y *Lilium* 'Serrada' calibre 14-16, del 12 de octubre al 30 de diciembre de 2013. Se emplearon bulbos vernalizados que se adquirieron en la empresa Bulbos de Holanda. El sustrato utilizado para ambos cultivares fue agrolita, se colocó en bolsas de polietileno color negro con dimensiones de 0.3 x 0.3 m, en cada bolsa se plantó un bulbo para cv. Acapulco y 2 bulbos para cv. Serrada. En ambos cultivares, para cada tratamiento se emplearon 50 macetas; es decir, se tuvieron 50 plantas de *Lilium* 'Acapulco' y 100 de *Lilium* 'Serrada'. Previo a la plantación, los bulbos se desinfectaron con una solución de Orthodifolathan (Captan, Pro-agro, México) 1 g/l durante 5 min. El diseño del invernadero (Rodríguez Landero et al., 2012) y la disposición de las macetas en ambos ciclos de cultivo permitió que el diseño experimental, en ambos ciclos, fuera completamente al azar. Para la toma de datos, de cada tratamiento, se trabajó con 10 plantas aleatoriamente.

Para evitar daños por alta intensidad luminosa, durante todo el ciclo de cultivo, las plantas se cubrieron con malla sombra 50% color negro; la intensidad luminosa promedio dentro del invernadero durante el día, a las 10:00, 13:00 y 16:00 h, respectivamente, fue de 75000, 93300 y 52000 lx; mientras que por efecto de la malla sombra, la planta estuvo expuesta a 33000, 44600 y 22200 lx, respectivamente. La humedad relativa varió de 35 a 65%. El manejo del cultivo incluyó monitoreo y control adecuado de plagas y enfermedades y la aplicación foliar, a todos los tratamientos, de Ca (130 mg/l) y B (30 mg/l), cada 15 d, a partir de 25 d después de plantación (DDP) y posteriormente cada 20 d hasta la cosecha (Rodríguez Landero et al., 2012). Se previó que la aplicación de Ca y B no coincidiera con la del Zn y Mg, nutrimentos en experimentación.

Manejo del cv. Acapulco

Una vez establecido el cultivo de *Lilium* 'Acapulco', el riego fue de 100 ml por maceta, cada tercer día hasta la aparición de los primeros botones florales; posteriormente y hasta la cosecha, se aumentó a 200 ml por maceta cada tercer día. La fertilización del sustrato se basó en la solución nutritiva de Steiner

(1961) aumentada 40 veces para igualar la dosis de 56 mg N/maceta/20 días sugerida para *Lilium* (Franco Mora et al., 2008); aplicando 10 ml/maceta, mientras que con 20 ml por maceta la dosis sugerida de N se duplicó. La fertilización al sustrato inició a los 20 DDP y después se aplicó a intervalos de 20 d durante todo el ciclo de la planta, hasta su cosecha a los 105 DDP. Un segundo factor de estudio lo constituyó la aplicación de tres dosis de fertilización foliar a base de Zn y Mg, 0-0, 72-80 y 144-160 mg/l, respectivamente; esto a partir de los 35 DDP, cuando las hojas se encontraban ya expandidas, y posteriormente cada 15 d durante todo el ciclo del cultivo. La aplicación foliar de Zn y Mg se realizó con un aspersor manual mediante una barrera plástica entre tratamientos para evitar una aplicación de dosis diferente; la solución se aplicó hasta punto de goteo.

A los 35, 55, 75 y 95 DDP se realizaron cuantificaciones en la altura (cm) de planta, desde la base del tallo (inicio del sistema radicular adventicio caulinar) hasta el ápice de la planta (incluyendo el botón floral, cuando se presentó). Por otro lado, el índice de verdor de las hojas se determinó con un medidor SPAD (Mod. 502, Konica Minolta, Japón) en hojas completamente extendidas a los 43, 63, 83 y 103 DDP. Los valores se obtuvieron en cinco hojas de la parte intermedia de cada uno de los 10 tallos evaluados.

Manejo del cv. Serrada

Los riegos por maceta fueron de 100 ml cada tercer día, desde la plantación hasta la cosecha, 75 DDP. De acuerdo con los resultados con *Lilium* cv. Acapulco, para *Lilium* cv. Serrada se experimentó solo con la fertilización foliar, pero en este caso se ampliaron los rangos de las dosis, de 0-0, 72-160, 144-80, 144-160, 288-320 y 432-480 mg/l de Zn y Mg, respectivamente. El diseño experimental fue completamente al azar con el mismo número de repeticiones. En 10 plantas elegidas aleatoriamente se determinó el crecimiento de planta y el índice de verdor de las hojas a los 35, 55 y 75 DDP; la medición de estos parámetros y la aplicación de nutrimentos foliares se realizó igual que en el cultivo de *Lilium* 'Acapulco'.

Análisis estadístico

Los datos de ambos experimentos se analizaron bajo un diseño completo al azar con el paquete estadístico SPSS. El experimento con *Lilium* 'Acapulco' se analizó de manera bifactorial; el factor dosis de solución Steiner (1961) con dos niveles (10 y 20 ml por

maceta) y el factor dosis foliar de Zn y Mg con tres niveles (0-0, 72-80 y 144-160 mg/l, respectivamente). Posteriormente, se analizó de manera independiente a cada factor de estudio. Debido a que el factor dosis de solución Steiner (1961) afectó negativamente la altura de planta en *Lilium* 'Acapulco', el experimento de *Lilium* 'Serrada' solamente estudió el factor dosis de Zn y Mg foliar, con seis niveles (0-0, 72-160, 144-80, 144-160, 288-320 y 432-480 mg/l, respectivamente). Cuando el valor de *F* fue significativo, la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey o bien, con la prueba *t* de Student cuando se presentaron los dos tratamientos por dosis de solución de Steiner (1961), ambas pruebas a $P \leq 0.05$.

RESULTADOS

Cv. Acapulco

Tanto la dosis de Steiner (1961), como la aplicación foliar de Zn y Mg, afectaron la altura de las plantas de *Lilium* a partir de los 55 DDP; la dosis de 20 ml por planta de solución Steiner (1961) aumentada 40 veces, generó menor altura de planta (Tabla 1). En la misma fecha, con la aplicación de 144 mg/l Zn y 160 mg/l Mg, las plantas tuvieron al menos 4 cm de mayor altura que las fertilizadas foliarmente con alguna de las otras dos dosis (Tabla 2). La interacción de los factores (1) solución Steiner (1961) por (2) aplicación foliar de Zn y Mg no fue significativa para la altura de planta en ninguna fecha.

Para el verdor de las hojas, el ANOVA bifactorial no mostró diferencias significativas por efecto de la dosis de Steiner (1961). Sin embargo, para la aplicación foliar de Zn-Mg, a 63 y 103 DDP, el control generó menor índice de verdor ($P \leq 0.05$) que el observado en las hojas de *Lilium* 'Acapulco' fertilizado foliarmente con 144 mg/l de Zn y 160 mg/l de Mg; mientras que a 103 DDP las hojas de tallos fertilizados foliarmente con 72 mg/l de Zn y 80 mg/l de Mg superaron también al control y presentaron índice de verdor en hojas, similar

Tabla 1. Altura de la planta (en cm) en *Lilium* 'Acapulco' en función de la dosis de fertilización con solución Steiner, aumentada 40 veces, al sustrato, cada 20 d

Días después de plantación	Solución Steiner		Significancia
	10 ml/maceta	20 ml/maceta	
35	22.8	21.6	NS
55	53.8	47.5	**
75	89.0	82.3	**
95	98.3	95	**

Los valores son la media de 30 repeticiones, una planta por repetición. A nivel de fila, ** significativo con la prueba *t* de Student para $P \leq 0.01$; NS, no significativo. Elaboración propia.

al de los tallos tratados con 144 mg/l de Zn y 160 mg/l de Mg (Tabla 3).

Cv. Serrada

Para cv. Serrada, la altura de las plantas tratadas con 144-160 y 72-160 mg/l de Zn y Mg, respectivamente, superó al control (Figura 1). Por otro lado, de forma general, en *Lilium* 'Serrada' la aplicación foliar de Zn y Mg no generó efecto positivo en el índice de verdor de las hojas.

DISCUSIÓN

La solución Steiner contiene diversos nutrimentos (Steiner, 1961) y en este trabajo, al aplicar 10 ml por maceta de dicha solución aumentada 40 veces cada 20 d, se confirmó que la dosis de 53 mg N/maceta/20 d en *Lilium* (Rodríguez Landero et al., 2012) es adecuada para tener producción de calidad en cuanto a altura e índice de verdor de las hojas, al cultivar en un sustrato relativamente inerte como la agrolita. Así, con la aplicación de 20 ml de la solución de Steiner (1961) por maceta, se duplicó la recomendación de N (Rodríguez Landero et al., 2012), lo cual no generó beneficio al cultivo e incluso redujo la altura de la planta. Fisiológicamente, Artacho Vargas y Pinochet Tejos (2008) indicaron que el efecto de la aplicación de N en tulipán (*Tulipa gesneriana*) en relación con la acumulación

Tabla 2. Altura de planta (en cm) en *Lilium* 'Acapulco' en función de la dosis foliar de Zn y Mg, aplicada a partir de 35 d de plantación y posteriormente cada 15 d

Zn-Mg (mg/l)	Días después de plantación			
	35	55	75	95
0-0	21.2 ^a	48.1 ^b	82.3 ^b	95.6 ^b
72-80	21.5 ^a	47.1 ^b	83.1 ^b	94.1 ^b
144-160	23.9 ^a	56.5 ^a	90.9 ^a	99.5 ^a

Los valores son la media de 20 repeticiones, una planta por repetición. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente según la prueba de Tukey para $P \leq 0.05$. Elaboración propia.

Tabla 3. Efecto de la fertilización foliar con zinc y magnesio en el índice de verdor de las hojas en *Lilium* 'Acapulco'

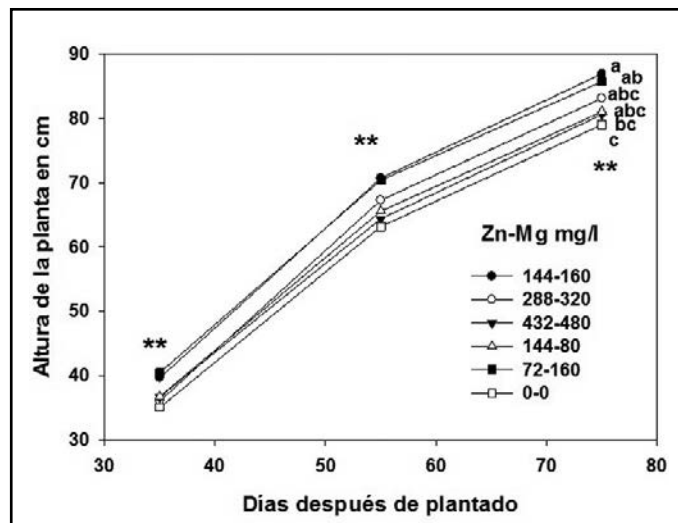
Día después de plantación	Tratamiento Zn-Mg (mg/l)	Índice de verdor (unidades SPAD)
43	0-0	24.1 ^{ab}
	72-80	23.3 ^b
	144-160	27.5 ^a
63	0-0	46.1 ^b
	72-80	47.8 ^{ab}
	144-160	49.9 ^a
83	0-0	44.6 ^b
	72-80	48.2 ^a
	144-160	47.0 ^{ab}
103	0-0	40.5 ^b
	72-80	46.3 ^a
	144-160	44.4 ^a

Los valores son la media de 20 repeticiones, una planta por repetición. Medias con letras distintas en una misma columna difieren estadísticamente según la prueba de Tukey para $P \leq 0.05$. Elaboración propia.

de materia, se puede explicar con una ecuación de tercer grado. Esto quiere decir que al llegar al punto máximo, el efecto del fertilizante deja de ser positivo para pasar a negativo o, en este caso, generar menor altura. Como aspecto colateral y no involucrado en el presente estudio, se infiere que aumentar las dosis óptimas recomendadas de fertilización con N incrementa el costo del cultivo y el impacto ambiental, sin reflejarse positivamente en la ganancia por la venta del producto.

Por otro lado, la aplicación foliar de Zn y Mg influyó positivamente en la altura y, por tanto, en la calidad de los tallos de *Lilium* (Bañón Arias et al., 1993). La dosis de 144-160 mg/l, Zn-Mg, respectivamente, aumentó altura del tallo para ambos cultivares, en relación con el control. Es importante señalar que en *Lilium* 'Serrada' la aplicación de 70-160 mg/l Zn-Mg también incrementó la altura del tallo, y dicha altura fue similar a la observada con la dosis 144-160 mg/l, Zn-Mg, respectivamente; por tanto, para este efecto, en *Lilium* 'Serrada' la recomendación de Zn y Mg, basada en el costo del fertilizante debe ser, respectivamente, 70-160 mg/l.

La adición de Zn incrementó la altura de planta en frijol mungo (*Vigna radiata*), y se explicó indicando que la traslocación del Zn dentro de

**Figura 1.** Cinética en el crecimiento de *Lilium* 'Serrada' por efecto de la aplicación foliar de Zn y Mg. Los datos son la media de 10 repeticiones \pm E. E. M. Elaboración propia.

la planta permite mayor crecimiento vegetal (Samreen et al., 2013). Particularmente, se ha indicado el efecto positivo de Zn en los procesos de división y, sobre todo, alargamiento celular (Clark y Zeto, 2000). Además, el Zn está relacionado con la actividad fotosintética y se sabe que la cantidad de fotosintatos está relacionada positivamente con el crecimiento vegetal (Sharma et al., 1990; Kaya et al., 2005; Nadergoli et al., 2011). En el caso del Mg se ha encontrado que una baja concentración de este elemento en cítricos (*Citrus* spp.) disminuye la altura de la planta (Xiao et al., 2014), además, en vid (*Vitis vinifera*), la limitación de Mg se relaciona con baja tasa fotosintética y producción de glucosa (Hermans y Verbruggen, 2005). De manera muy correlacionada, en el cultivo de palmarosa (*Cymbopogon martinii*. Roxb), la aplicación foliar de Mg y Zn, con otros nutrimentos (B, manganeso (Mn) y hierro (Fe)), incrementó la altura de la planta y el número de hojas (Rajeswara Rao y Rajput, 2011). Esto indicaría que la correcta aplicación de ambos nutrimentos se relaciona con mayor tasa de crecimiento vegetal.

El mayor índice de verdor de las hojas de *Lilium* 'Acapulco' a los 63 y 103 DDP, al aplicar conjuntamente 144 y 160 mg/l Zn y Mg, respectivamente, en relación con el control, pudiera explicarse porque el Zn tiene función estructural y de componente catalítico de diversas proteínas, enzimas y coenzimas relacionadas con la síntesis de clorofila (Samreen et al., 2013); además de que Mg

es componente central de dicho pigmento (Devlin, 1976). Para *Lilium* 'Acapulco' el índice de verdor de las hojas que implica mayor tasa fotosintética ayuda a explicar el mayor desarrollo vegetal, en este caso, del tamaño del tallo (Whitman et al., 2001; Rajeswara Rao y Rajput, 2011) por aplicación de Zn y Mg. Sin embargo, en *Lilium* 'Serrada' esto no ocurrió, ya que el índice de verdor de las hojas no fue modificada por la aplicación de los nutrimentos en estudio. Ortega Blu et al. (2006) encontraron que los efectos positivos de una fertilización para un cultivar podrían no presentarse en otro. O bien, que para *Lilium* 'Serrada' la adición de Zn puede alterar el equilibrio con otros nutrimentos, particularmente Fe y, por tanto, afectar la síntesis de clorofila (Rosen et al., 1977). El no observar efectos positivos de Mg y Zn en el índice de verdor de las hojas del segundo cultivar, pero sí en el largo del tallo, sugiere que el tamaño tiene influencia también de otros factores, posiblemente hormonales y/o ambientales (Whitman et al., 2001).

CONCLUSIONES

La aplicación de 10 ml/maceta/20 días de solución Steiner (1961) aumentada 40 veces para generar una dosis de N de 53 mg N/maceta/20 días generó mayor altura de tallo en *Lilium* 'Acapulco', en comparación con una dosis de 20 ml/maceta/10 días. No existió diferencia en el índice de verdor de



Figura 2. Se estudia la influencia del Mg y el Zn en características de *Lilium*. Fotografía proporcionada por María del Rosario Reyes Alemán.

las hojas por la aplicación de dichas dosis. Por otro lado, la aplicación foliar conjunta de 144 mg/l de Zn y de 160 mg/l de Mg en *Lilium* 'Acapulco' y 'Serrada', cada 15 d a partir de 35 DDP y hasta la cosecha, aumentó el tamaño del tallo en relación con el control. En el segundo cultivar, la dosis foliar de 72 mg/l de Zn y 160 mg/l de Mg también generaron mayor altura de tallo, y con el fin de no aumentar costo de cultivo se recomienda su aplicación comercial. En *Lilium* 'Acapulco', la aplicación foliar de Zn y Mg incrementó el índice de verdor de las hojas, pero en *Lilium* 'Serrada' no presentó este efecto.

LITERATURA CITADA

- ARTACHO VARGAS, P. y PINOCHET TEJOS, D. Producción de materia seca y absorción de nitrógeno del cultivo del tulipán (*Tulipa gesneriana* L.). *Agrociencia*, 42(1): 37-45, 2008.
- BAÑÓN ARIAS, S. et al. *Gerbera, Lilium, tulipán y rosa*. España: Mundi-Prensa, 250 pp., 1993.
- BARRANTES INFANTE, B. L. y BERTSCH, F. Curvas de absorción de nutrimentos para tres variedades de lirios (*Lilium* sp.) y afinamiento del programa de fertilización en una finca comercial en Heredia, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 36(2): 47-60, 2012.
- BARRERA AGUILAR, E. et al. Potassium nutrition in *Lilium*: Critical concentrations, photosynthesis, water potential, leaf anatomy, and nutrient status. *HortScience*, 48(12): 1537-1542, 2013.
- BETANCOURT OLVERA, M. et al. Fertilización foliar una herramienta en el desarrollo del cultivo de *Lilium* cv. Stargazer. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(2): 371-378, 2005.
- BURCHI, G. et al. Improvement of flower color by means of leaf treatments in Lily. *Scientia Horticulturae*, 125(3): 456-460, 2010.
- CLARK, R. B. y ZETO, S. K. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Journal of Plant Nutrition*, 23(7): 867-902, 2000.
- DEVLIN, R. M. *Fisiología vegetal* (pp. 193-194). España: Omega, 1976.
- FRANCO MORA, O. et al. Incremento en la vida en florero de *Lilium* 'Menorca' por nitrato y óxido de calcio. En R. Rueda Luna (Ed.), *Estrategias de producción en sistemas agropecuarios*. México: BUAP (en prensa).
- FRANCO MORA, O. et al. Vida en florero de *Lilium* x 'Brindisi' y 'Menorca' fertilizado con nitrato y óxido de calcio. *Ciencias Agrícolas Informa*, 18, 4-12, 2008.

- HERMANS, C. y VERBRUGGEN, N. Physiological characterization of Mg deficiency in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, 56(418): 2153-2161, 2005.
 - KAYA, M. et al. Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Journal of Agriculture & Biology*, 7, 875-878, 2005.
 - MATOS, V. I. J. et al. Growth and visual symptoms of macronutrient deficiency and zinc in *Heliconia psittacorum* cv. Golden torch. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 12(1): 169-173, 2014.
 - NADERGOLI, M. S. et al. Effect of zinc and manganese and their application method on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Khomein. *Middle-East Journal of Science Research*, 8(5): 859-865, 2011.
 - ORTEGA BLU, R. et al. Determinación de las curvas de acumulación de nutrientes en tres cultivares de *Lilium* spp. para flor de corte. *Agrociencia*, 40(1): 77-88, 2006.
 - RAJESWARA RAO, B. R. y RAJPUT, D. K. Response of palmarosa {*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats. var. motia Burk.} to foliar application of magnesium and micronutrients. *Industrial Crops & Products*, 33(2): 277-281, 2011.
 - RASHID, A. Secondary and micronutrients. En E. S. Bantel (Ed.), *Soil Science* (pp. 341-386). Islamabad, Pakistan: National Book Foundation, 2005.
 - RODRÍGUEZ LANDERO, A. C. et al. Efecto del 1-MCP en la vida poscosecha de *Lilium* spp. fertilizado foliarmente con calcio y boro. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8): 1623-1628, 2012.
 - ROSEN, J. A. et al. Zinc, iron, and chlorophyll metabolism in zinc-toxic corn. *Plant Physiology*, 59(6): 1085-1087, 1977.
 - SAEED, T. et al. Zinc augments the growth and floral attributes of gladiolus, and alleviates oxidative stress in cut flowers. *Scientia Horticulturae*, 164, 124-129, 2013.
 - SAGARPA (SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA y ALIMENTACIÓN). *Garantizada la disponibilidad de flores para cubrir la demanda nacional*. Comunicado de prensa 098/12. D. F., México, 14 de febrero de 2012.
 - SALAZAR OROZCO, G. et al. Influencia de la fertilización nitrogenada y potásica en la calidad aromática de flores de *Lilium* 'Starfighter'. *Información Técnica Económica Agraria*, 109(1): 3-12, 2013.
 - SHARMA, P. N. et al. Zinc deficiency and pollen fertility in maize (*Zea mays*). *Plant and Soil*, 124(2): 221-225, 1990.
 - STEINER, A. A. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant & Soil*, 15(2): 134-154, 1961.
 - TREDER, J. Growth and quality of oriental lilies at different fertilization levels. *Acta Horticulturae*, 673, 297-302, 2005.
 - WHITMAN, C. M. et al. GA4+7 plus benzyladenine reduce foliar chlorosis of *Lilium longiflorum*. *Scientia Horticulturae*, 89(2): 143-154, 2001.
 - XIAO, J. X. et al. Effects of low magnesium and an arbuscular mycorrhizal fungus on the growth, magnesium distribution and photosynthesis of two citrus cultivars. *Scientia Horticulturae*, 177, 14-20, 2014.
 - YILMAZ, A. et al. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*, 20(4-5): 461-471, 1997.
 - YING, K. et al. Floral scent composition of *Lilium* 'Regale' Wilson. *Acta Horticulturae*, 1027, 81-86, 2014.
- De páginas electrónicas**
- SAMREEN, T. et al. Zinc effect on growth rate, chlorophyll, protein and mineral contents of hydroponically grown mungbeans plant (*Vigna radiata*). *Arabian Journal of Chemistry*, 2013. doi: 10.1016/j.arabjc.2013.07.005

Efecto de la bupivacaína versus bupivacaína más dexmedetomidina intratecal sobre el dolor posquirúrgico

Effect of bupivacaine versus bupivacaine plus intrathecal dexmedetomidine in postoperative pain

Crystell Guadalupe Guzmán Priego¹, Jorge Elías Torres López¹, Adriana Margarita Beltrán Jesús², Guadalupe del Carmen Baeza Flores^{1*}

Guzmán Priego, C. G., Torres López, J. E., Beltrán Jesús, A. M., Baeza Flores, G. C. Efecto de la bupivacaína versus bupivacaína más dexmedetomidina intratecal sobre el dolor posquirúrgico. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 38-43, enero-abril 2017.

RESUMEN

La anestesia regional ha demostrado grandes beneficios asociados al uso combinado de dexmedetomidina y bupivacaína, por lo que cuantificar el efecto analgésico de bupivacaína vs. bupivacaína más dexmedetomidina intratecal en el control del dolor posquirúrgico se realizó a través de un ensayo clínico controlado. A muestra de 60 sujetos divididos aleatoriamente; Grupo b: recibieron bupivacaína a 0.5% en una dosis de 0.2mg/kg vía intratecal con 0.5 ml de solución fisiológica y Grupo d: recibieron bupivacaína a 0.5% en una dosis de 0.2 mg/kg vía intratecal con 5 µg de dexmedetomidina en 0.5 ml de solución fisiológica. Derivado de la aleatorización y examen de los sujetos se obtuvo que el inicio del bloqueo apareció en el grupo con dexmedetomidina (8.5 ± 1.0 min) con respecto a bupivacaína (9.9 ± 1.8 min) ($p= 0.0006$) y se observó mayor duración de analgesia posoperatoria con un valor p de 0.0230, lo que lleva a concluir que el uso de dexmedetomidina proporciona beneficios en el control del dolor posquirúrgico.

Palabras clave: dolor posoperatorio, anestesia, anestésicos, bupivacaína, dexmedetomidina.

Keywords: postoperative pain, anesthesia, anesthetics, bupivacaine, dexmedetomidine.

Recibido: 18 de junio de 2016, aceptado: 16 de diciembre de 2016

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.

² Hospital Regional de Alta Especialidad Juan Graham Casasús, México.

* Autor para correspondencia: ba_lupitabaeza@hotmail.com

ABSTRACT

Regional anesthesia has shown great benefits associated with the combined use of dexmedetomidine and bupivacaine. Therefore, quantifying the analgesic effect of bupivacaine versus bupivacaine plus intrathecal dexmedetomidine in the control of postoperative pain was performed through a controlled clinical trial. In a sample of 60 randomly divided subjects; Group b: received 0.5% bupivacaine at a dose of 0.2 mg/kg intrathecally with 0.5 ml of physiological solution and Group d: received 0.5% bupivacaine at a dose of 0.2 mg/kg via intrathecal administration with 5 µg of dexmedetomidine in 0.5 ml of saline solution. From the randomization and evaluation of subjects, it was found that the onset of blockade occurred in the group with dexmedetomidine (8.5 ± 1.0 minutes) compared to bupivacaine (9.9 ± 1.8 min) ($p=0.0006$) and a longer duration of postoperative analgesia with a p -value of 0.0230, that leads us to conclude that the use of dexmedetomidine provides benefits in the control of postoperative pain.

INTRODUCCIÓN

El dolor es definido como "una experiencia sensorial y emocional desagradable, asociada con daño tisular real o potencial que puede ser descrita en términos de dicho daño" (Anand y Craig, 1996). De acuerdo con las distintas clasificaciones de dolor, es objeto de nuestra atención el dolor posoperatorio, que aparece como consecuencia

de la estimulación nociceptiva resultante de la intervención quirúrgica sobre los distintos órganos y tejidos, cuya duración es limitada y su intensidad máxima se presenta en las primeras 24 h con una disminución progresiva (Eberhard y Mora, 2004; Reyes Chiquete, 2005). La agresión quirúrgica, además de activar las vías nociceptivas, origina una respuesta neurohumoral generalizada, mediada por el eje hipotálamo-hipófisis suprarrenal, una reacción de defensa del organismo frente a la lesión tisular. El sistema inmune y los cambios hormonales (liberación de corticoesterona, progesterona, catecolaminas, etc.) transmiten información entre la periferia y el sistema nervioso, esta comunicación bidireccional tiene como función proteger la integridad del organismo (Wrona, 2006).

La ausencia temporal de sensibilidad para una intervención quirúrgica es provista por sedación, anestesia general, regional o local, dependiendo del tipo de procedimiento que se realice (Salamanca et al., 2009). En el caso de anestesia regional espinal se ha observado efectividad, rapidez, seguridad y mejor manejo del dolor (Rebollo Manrique, 2013) asociado al uso de anestésicos locales (Valencia Gómez y García Araque, 2011) como bupivacaína (Santana Hernández et al., 2010).

Estudios anteriores demuestran que la dexmedetomidina aplicada por vía intravenosa antes de la anestesia disminuyó la intensidad del dolor y consumo de analgésicos en periodo posoperatorio (Del Angel García et al., 2006), que su adición a ropivacaína administrada vía intratecal prolonga la duración del bloqueo motor y sensorial (Gupta et al., 2011) y también hay evidencia de inicio más rápido de anestesia, sin presencia de efectos adversos (Shukla et al., 2011). Derivado de lo anterior, el objetivo del presente estudio fue cuantificar el efecto analgésico de bupivacaína vs. bupivacaína más dexmedetomidina intratecal en el control del dolor posquirúrgico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con registro en el Acta no. 275 se obtuvo la autorización del Comité de Investigación institucional de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y del Hospital Regional de Alta Especialidad Dr. Juan Graham Casasús. Se realizó un diseño experimental de tipo ensayo clínico controlado, en pacientes

programados para cirugía de abdomen inferior o extremidades inferiores.

Se estudió una muestra de 60 sujetos programados a cirugía durante el periodo comprendido desde el 1 de octubre hasta el 15 de diciembre de 2015, que aceptaran participar en el estudio a través de firma de consentimiento bajo información. Los sujetos que participaron en el estudio se dividieron en dos grupos asignados aleatoriamente; Grupo b: recibieron bupivacaína a 0.5% en una dosis de 0.2mg/kg vía intratecal con 0.5 ml de solución fisiológica y Grupo d: recibieron bupivacaína a 0.5% en una dosis de 0.2 mg/kg vía intratecal con 5 µg de dexmedetomidina en 0.5 ml de solución fisiológica.

Después de la cirugía permanecieron en el área de recuperación, para evitar sesgos; en la recolección de datos se designó personal capacitado ajeno a la investigación con instrucciones de registrar



Figura 1. Bloqueo intratecal. Paciente en decúbito lateral izquierdo. Médico especialista en anestesiología previa asepsia, antisepsia y colocación de campos estériles lleva a cabo la punción lumbar a nivel de espacio L1-L2. Fotografía tomada por María José Ayala Alcocer.

signos vitales cada hora durante las primeras 4 h y posteriormente cada 4 hasta su egreso del área. También se evaluó la presencia de dolor posoperatorio por medio de la escala visual análoga, frecuencia cardíaca, presión arterial sistólica y diastólica al momento de su ingreso a la sala de recuperación y a los 15, 30, 45, 60, 120, 240, 480, 720, 1080, 1440 min; por último, se registró si el personal de enfermería utilizó fármacos de analgesia de rescate en el posoperatorio para manejo del dolor en el sitio de la operación.

La información se registró en una base de datos en Microsoft Excel 2010 y se analizó por medio del programa Graphpad Prim 6 versión 6.07, a través de estadística descriptiva como medidas de tendencia central y dispersión. El análisis de intensidad de dolor posoperatorio se efectuó a través de la escala visual análoga (EVA) por medio de estadística no paramétrica mediante la prueba estadística de Mann-Whitney. Para las posibles diferencias entre variables cuantitativas se utilizó la prueba *t* de Student no pareada; finalmente, para evaluar la presencia y ausencia de dolor se realizó la prueba chi-cuadrada con una *p* <0.05 como estadísticamente significativa.

RESULTADOS

Se incluyeron 60 sujetos que fueron sometidos a cirugía de abdomen inferior y extremidades inferiores, 30 por cada grupo. Del Grupo b se obtuvo una media edad de 48 ± 12.49 años, 53.3% (*n*= 16) de sexo femenino, con una media de 78.17 ± 13.64 kg de peso, 1.64 ± 0.074 m, 28.93 ± 4.06 de IMC y en lo que corresponde a las características del Grupo d se obtuvo una media de edad de 51.30 ± 12.32

años, 53.3% (*n*= 16) de sexo femenino, 73.70 ± 11.43 kg de peso, 1.61 ± 0.077 m, 28.32 ± 3.39 de IMC, tal como se observa en la Tabla 1.

Parámetros anestésicos

En la Tabla 2 se observa que la duración de la cirugía para el grupo bupivacaína fue de 64.4 ± 23.3 min y de 69.3 ± 17.4 min para el grupo dexmedetomidina. Por otro lado, el tiempo de inicio del bloqueo apareció en el grupo con dexmedetomidina a los 8.5 ± 1.0 min, el tiempo de regresión del bloqueo en el grupo con dexmedetomidina fue de 92.0 ± 15.82 min y el tiempo de terminación del bloqueo en el grupo tratado con dexmedetomidina 161.8 ± 14.20 , comparado con 100.6 ± 27.44 min del grupo con bupivacaína.

En la evaluación del dolor posoperatorio por medio de la Escala Visual Análoga, los pacientes tratados con dexmedetomidina refirieron dolor hasta los 30 min del posoperatorio (Figura 2), mientras que en los tratados con bupivacaína el dolor se presentó inmediatamente en el posoperatorio; al realizar la prueba *t* de Student se encontró diferencia significativa (*p*= 0.0230), misma al comparar las áreas bajo la curva (ABC) entre los grupos de tratamiento (*p* <0.0260).

El rescate analgésico después de la operación (Tabla 3) se realizó a 26 pacientes en el grupo con bupivacaína, mientras que en el grupo con dexmedetomidina solamente en 14, lo que resultó estadísticamente significativo (*p* <0.0022), de la misma forma se observó que el tiempo de la analgesia de rescate se prolongó en más de 120 min en el caso de la dexmedetomidina cuando se comparó con la bupivacaína (*p*<0.0001); además,

Tabla 1. Datos demográficos

Características	Grupo bupivacaína (<i>n</i> = 30)	Grupo dexmedetomidina (<i>n</i> = 30)	Valor de <i>p</i>
Edad (años)	48 ± 12.49	51.30 ± 12.32	0.307
Género (F:M)	16:14	16:14	1
Peso (kg)	78.17 ± 13.64	73.70 ± 11.43	0.1744
Talla (m)	1.64 ± 0.074	1.61 ± 0.077	0.14
IMC	28.93 ± 4.06	28.32 ± 3.39	0.5286

Las variables cuantitativas se expresan como media y desviación estándar. Las variables categóricas se presentan como *n*. Para la comparación entre grupos se realizó la prueba *t* de Student no pareada para variables cuantitativas y la chi-cuadrada para variables cualitativas. Se consideraron estadísticamente significativos valores de *p* <0.05. Elaboración propia.

Tabla 2. Parámetros intraoperatorios y anestésicos

Características	Grupo bupivacaína (n= 30)	Grupo dexmedetomidina (n= 30)	Valor de p
Duración cirugía (min)	64.4 ± 23.3	69.3 ± 17.4	0.1375
Inicio de bloqueo (min)	9.9 ± 1.81	8.5 ± 1.01	0.0006
Regresión de bloqueo (min)	59.1 ± 15.45	92.0 ± 15.82	<0.0001
Término de bloqueo (min)	100.6 ± 27.44	161.8 ± 14.20	<0.0001

Los datos se presentan como media y desviación estándar. Se realizó una prueba t de Student no pareada, si se consideran estadísticamente significativos aquellos valores de p <0.05. Elaboración propia.

Tabla 3. Rescate analgésico posoperatorio

Características	Grupo bupivacaína (n= 30)	Grupo dexmedetomidina (n= 30)	Valor de p
Pacientes rescatados (%)	26 (86.7)	14 (46.7)	0.0022
Tiempo rescate	15.58 ± 12.36	197.1 ± 59.67	<0.0001
Intensidad de dolor (EVA) al momento del rescate	5.7 ± 1.59	3.7 ± 1.27	0.0008

Los datos se presentan como media y desviación estándar o como n y (porcentaje). Para las variables cualitativas se utilizó la prueba chi-cuadrada (X²). Para las variables cuantitativas se realizó una prueba t de Student no pareada, considerando estadísticamente significativos aquellos valores de p <0.05. Elaboración propia.

los puntajes de la EVA al momento de la analgesia de rescate para el grupo con dexmedetomidina fueron de 3.71 ± 1.27 y en el grupo con bupivacaína de 5.7 ± 1.59, la diferencia de dos puntos de la EVA (p= 0.0008) resultó significativa, lo que demuestra que la dexmedetomidina es efectiva para prolongar la analgesia posoperatoria y disminuir los requerimientos de analgesia.

La frecuencia de efectos adversos en ambos grupos fue similar para los dos grupos, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Efectos adversos

Efecto adverso	Bupivacaína	Dexmedetomidina	p
Náuseas	0 (0)	3 (10)	0.2373
Vómito	0 (0)	0 (0)	1.000
Bradicardia	2 (6.7)	1 (3.3)	1.000
Hipotensión	4 (13.3)	6 (20)	0.7306

Los datos se presentan como frecuencia y (porcentaje). Se realizó una prueba chi-cuadrada (X²) o prueba exacta de Fisher para la comparación entre grupos. Se consideraron estadísticamente significativos valores p <0.05. Elaboración propia.

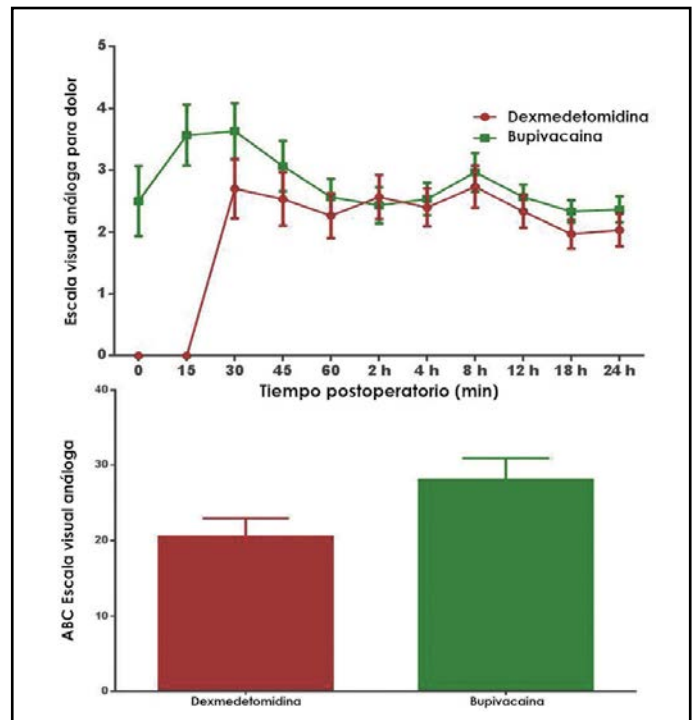


Figura 2. Valoración del dolor posoperatorio de la EVA. Los datos se presentan como media y error estándar para los grupos. Elaboración propia.

DISCUSIÓN

En esta investigación se comparó el efecto de la dexmedetomidina asociada a la bupivacaína con la administración de bupivacaína sola por vía intratecal en pacientes sometidos a cirugía de abdomen inferior y extremidades inferiores, por lo que a través de nuestros resultados se sugiere que la dexmedetomidina es efectiva para prolongar la analgesia posoperatoria y disminuir los requerimientos de analgesia; sin embargo, para mantener la calidad del mismo, la limitación principal fue la disponibilidad de la dexmedetomidina a nivel institucional debido a su costo.

Se encontró que el grupo tratado con dexmedetomidina presentó un inicio más rápido del bloqueo motor y sensorial, mientras que los tiempos de regresión y término del bloqueo se prolongaron de forma significativa cuando se compararon con el grupo con bupivacaína, esto concuerda con lo reportado por Gupta et al. (2011), ya que ellos encontraron resultados similares a los de este estudio.

En el caso del efecto de la dexmedetomidina sobre la analgesia posterior a la operación, varios autores han reportado disminuciones en el puntaje de la escala análoga visual, menores requerimientos en las dosis de analgesia de rescate y una prolongación en el tiempo de administración necesaria de la misma en los pacientes a los que se ha medicado con dexmedetomidina (Fernández Galinski et al., 1996; Del Angel García et al., 2006; Kanazi et al., 2006; Vaca Damy et al., 2011); en este trabajo se presentó un incremento de casi 2 h en el tiempo de administración de analgesia de rescate y un menor número de pacientes que requirieron rescate analgésico.

Los efectos adversos presentados por los pacientes tratados con dexmedetomidina fueron las náuseas, bradicardia e hipotensión; sin embargo, la frecuencia de estos efectos adversos no tuvo diferencia significativa al compararla con la de los anestesiados con bupivacaína; lo anterior resulta similar a lo reportado por los demás trabajos, lo que demuestra que la administración de la dexmedetomidina en dosis de 5 µg por vía intratecal es segura y efectiva para el manejo del dolor estudiado (Fernández Galinski et al., 1996; Gupta et al., 2011; Shukla et al., 2011; Vaca Damy et al., 2011).

Aun con evidencia del papel que tiene la adición de dexmedetomidina a bupivacaína en el control del dolor posterior a una cirugía se recomienda la realización de más estudios que valoren la eficacia, seguridad y costos para tener un panorama sobre los beneficios y repercusiones que tendrá sobre la dinámica institucional y la posibilidad de aplicar la recomendación.

CONCLUSIONES

La dexmedetomidina a dosis de 5 µg asociada a la bupivacaína administrada por vía intratecal es más efectiva en la analgesia posoperatoria comparada con esta sustancia sola en cirugía de abdomen inferior y extremidades inferiores, presenta un tiempo más prolongado de analgesia posoperatoria, con requerimiento de analgesia de rescate hasta 2 h después que en el grupo con bupivacaína.

Esta investigación se realizó bajo apego estricto a la Ley General de Salud en México, categorizado tipo II, con riesgo mínimo.

LITERATURA CITADA

De páginas electrónicas

- ANAND, K. J. S. y CRAIG, K. D. New perspectives on the definition of pain. *Pain*, 67(1): 3-6, 1996. doi: 10.1016/0304-3959(96)03135-1
- DEL ANGEL GARCÍA, R. et al. Analgesia preventiva postoperatoria con dexmedetomidina en hernioplastia inguinal. *Gaceta Médica de México*, 142(1): 9-12, 2006. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-38132006000100002
- EBERHARD, M. E. y MORA, X. Manejo del dolor en el paciente pediátrico. *Revista Chilena de Pediatría*, 75(3): 277-279, 2004. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062004000300012
- FERNÁNDEZ GALINSKI, D. et al. Spinal anesthesia with bupivacaine and fentanyl in geriatric patients. *Anesthesia & Analgesia*, 83(3): 537-541, 1996. Recuperado de http://journals.lww.com/anesthesia-analgesia/Abstract/1996/09000/Spinal_Anesthesia_with_Bupivacaine_and_Fentanyl_in.17.aspx
- GUPTA, R. et al. Dexmedetomidine as an intrathecal adjuvant for postoperative analgesia. *Indian Journal of Anaesthesia*, 55(4): 347-351, 2011. doi: 10.4103/0019-5049.84841
- KANAZI, G. E. et al. Effect of low-dose dexmedetomidine or clonidine on the characteristics of bupivacaine spinal block. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 50(2): 222-227, 2006. doi: 10.1111/j.1399-6576.2006.00919.x
- REBOLLO MANRIQUE, R. E. Bloqueo subaracnoideo: una técnica para siempre. *Revista Mexicana de Anestesiología*, 36(Suppl. 1): S145-S149, 2013. Recuperado de <http://www.medigraphic.com/pdfs/rma/cma-2013/cmas131af.pdf>
- REYES CHIQUETE, D. Dolor agudo en el paciente con cáncer. *Revista Mexicana de Anestesiología*, 28(1): 175-176, 2005. Recuperado de <http://new.medigraphic.com/cgi-bin/resumen.cgi?IDARTICULO=8269>
- SALAMANCA, R. N. et al. Anestesia espinal para colecistectomía. *Revista Colombiana de Anestesiología*, 37(3): 264-271, 2009. doi: 10.1016/S0120-3347(09)73009-6
- SANTANA HERNÁNDEZ, D. A. et al. Eficacia de la analgesia epidural posoperatoria con fentanil y bupivacaína en comparación con buprenorfina y bupivacaína en pacientes sometidos a artroplastia de cadera. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 15(4): 204-210, 2010. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/473/47316086004.pdf>
- SHUKLA, D. et al. Comparative study of intrathecal dexmedetomidine with intrathecal magnesium sulfate used as adjuvants to bupivacaine. *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology*, 27(4): 495-499, 2011. doi: 10.4103/0970-9185.86594
- VACA DAMY, A. et al. Dexmedetomidina más bupivacaína frente a bupivacaína sola en infusión peridural para el control del dolor postquirúrgico. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 12(4): 181-186, 2011. Recuperado de <http://new.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=44811&IDPUBLICACION=4631&IDREVISTA=82&NOMBRE=Revista%20Mexicana%20de%20Neurociencia>
- VALENCIA GÓMEZ, R. E. y GARCÍA ARAQUE, H. F. Toxicidad por anestésicos locales: revisión de la literatura. *Revista Colombiana de Anestesiología*, 39(1): 40-54, 2011. doi: 10.5554/rca.v39i1.160
- WRONA, D. Neural-immune interactions: an integrative view of the bidirectional relationship between the brain and immune systems. *Journal of Neuroimmunology*, 172(1-2): 38-58, 2006. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jneuroim.2005.10.017>

Análisis de protección para casco de ciclista sometido a impacto virtual por método de elemento finito

Protection analysis for cyclist helmet under virtual impact by finite element method

Eddie Nahúm Armendáriz Mireles¹, José Adalberto Castillo Robles¹, Marco Antonio López Gutiérrez¹, Enrique Rocha Rangel^{1*}

Armendáriz Mireles, E. N., Castillo Robles, J. A., López Gutiérrez, M. A., Rocha Rangel, E. Análisis de protección para casco de ciclista sometido a impacto virtual por método de elemento finito. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 44-49, enero-abril 2017.

RESUMEN

El uso de la bicicleta implica un gran riesgo de sufrir lesiones por caídas, dentro de las cuales las de mayor riesgo son las lesiones en la cabeza, por lo cual es indispensable el uso de equipo de protección. El presente proyecto se enfoca en el análisis de la protección ejercida por un casco de ciclista realizado a través del método de elemento finito, la metodología se basó en las normas Snell. Se determinaron las tensiones que absorbe el casco, se simuló un impacto frontal variando el grosor del material absorbente del casco (30 mm, 20 mm y 10 mm), el cual protege una esfera de aluminio sólida de 4.7 kg, que representaba la cabeza de un ciclista. Los resultados permiten concluir que un casco para ciclista es capaz de absorber más de 90% de las tensiones y mejora el nivel de protección como se observa en el caso de estudio realizado con el grosor de 20 mm.

ABSTRACT

Bikes involve great risk of injury from falls; among the major risks are head injuries. Therefore, it is essential to use protective elements. This project focuses on a study to analyze protection for a helmet for cyclists using

Palabras clave: casco de ciclista, análisis de esfuerzos, prueba de impacto, simulación, seguridad deportiva.

Keywords: bicycle helmet, stress analysis, impact test, simulation, sports security.

Recibido: 23 de marzo de 2016, aceptado: 16 de diciembre de 2016

¹ Universidad Politécnica de Victoria, México.

* Autor para correspondencia: erochar@upv.edu.mx

the finite element method; the entire methodology of this work was based on the Snell standards. The percentage of absorbed tension was determined by simulating a frontal impact by varying the thickness of the material of the helmet (30 mm, 20 mm and 10 mm) that protects a 4.7kg sphere of solid aluminum, emulating the head of a bicyclist. From the results it was determined that the helmet can absorb more than 90% of the tensions, the helmet with 20mm of thickness presents the best results.

INTRODUCCIÓN

Las lesiones en la cabeza han generado una mayor preocupación en algunos deportes, especialmente en los de contacto. Los cascos han sido adaptados como dispositivos de prevención y protección de lesiones en la cabeza (Luo y Liang, 2013). Los mismos no son legalmente obligatorios en varios países pero son muy convenientes. El casco debe ajustarse bien a la cabeza, colocarse a la altura de las cejas y nunca inclinado hacia la parte posterior de la misma (Roberts, 2012). En un accidente de bicicleta, las lesiones cerebrales pueden ser penetrante o fracturada y no penetrante y no fracturada. Los dispositivos de protección, en este caso los cascos, pueden proteger eficazmente contra la lesión penetrante, pero pueden tener un efecto mucho menor sobre la lesión no penetrante, dado que el cerebro puede ser lesionado en un impacto dejando el cráneo esencialmente intacto.

El mecanismo de la lesión no penetrante es mucho más complicado que el de la penetrante. Este tipo de lesiones está determinado por la complejidad y la estructura anatómica fina del cerebro humano,

aunque a la fecha no todos los mecanismos de la lesión cerebral se conocen bien (Luo et al., 2008).

Cuando la cabeza hace impacto repentino y violento con un objeto rígido, la pequeña parte de la cabeza que es golpeada deja de moverse inmediatamente, pero el resto sigue en movimiento (Snell Memorial Foundation, 2015), lo que puede provocar lesiones irreversibles. El uso de un casco certificado puede reducir hasta en 50% la mortalidad en un percance. Lamentablemente en México solo se tienen datos de estos elementos en cinco entidades y son de motocicleta (Sánchez, 2015). Aunque el uso del casco de bicicleta ha demostrado poder reducir lesiones en la cabeza de manera significativa, ningún casco puede proteger al usuario de todos los accidentes previsibles. Por tanto, lesión, muerte o daño permanente pueden ocurrir en accidentes que exceden la capacidad de protección de cualquier casco, incluso los que cumplan los requisitos de las normas establecidas (Chang et al., 2003).

Los cascos se construyen de modo que la energía de un golpe es administrada por el mismo, lo que puede provocar su destrucción parcial o total. Debido a que el daño puede no ser fácilmente evidente, se recomienda que un casco impactado en un accidente sea devuelto al fabricante para su inspección completa. Si no es posible hacerlo, siempre debe ser destruido y reemplazado (Neumayr, 2004; Sánchez, 2015).

La Figura 1 muestra el armazón de plástico exterior y los componentes principales del casco, según su diseño, agrega capacidad de distribución de cargas e impide que objetos penetren en él. El cuerpo principal del casco tiene agujeros de ventilación y está hecho de material ligero que distribuye y absorbe la energía de un impacto.

Durante un impacto como se muestra en la Figura 2, (a) se resalta el daño al cerebro y al cráneo al no usar casco de protección, por su parte la imagen (b) muestra cómo el material absorbe y permite que el cerebro desacelere de forma que se disminuya el daño al impactar, la cabeza hace presión sobre el casco, el cerebro gana con esto un poco más de tiempo y distancia adicional para disminuir la velocidad. El casco ejerce fuerza para disminuir la velocidad de la cabeza hasta frenarla de forma más suave a la que sería de no tenerse el casco (Snell Memorial Fundación, 2015).

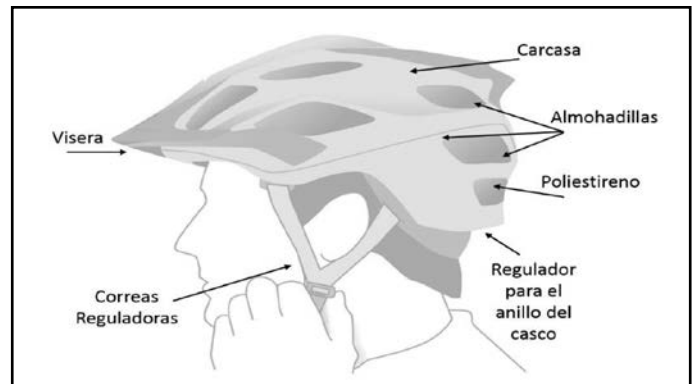


Figura 1. Componentes principales de un casco estándar de ciclista. Imagen tomada de tattoo.ws. Editada por Eddie Armendáriz.

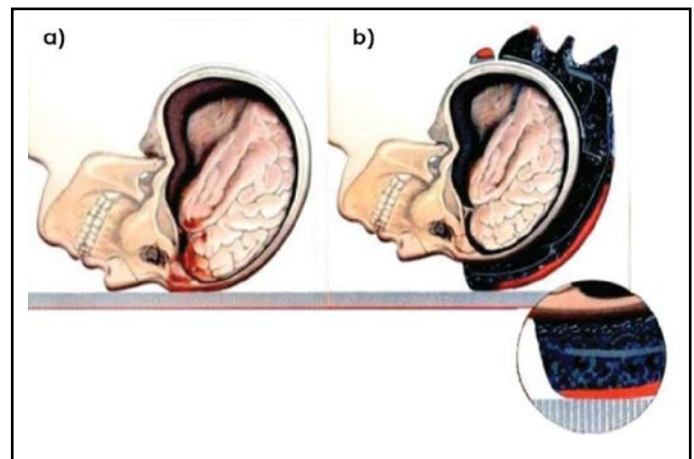


Figura 2. Vista seccionada de la cabeza y cerebro mientras sufre una caída frontal. Imagen tomada de bizirutas.com.

La capacidad de protección puede disminuir con el tiempo. Algunos cascos están hechos de materiales que se deterioran y, por tanto, tienen una vida útil limitada. En la actualidad se recomienda que los de bicicleta puedan ser reemplazados a los 5 años de uso o antes si están deteriorados. El material ideal de acuerdo a las normas Snell debe ser durable, resistente a la exposición al sol, lluvia, polvo y no degradable a temperaturas extremas en almacenaje y transportación. Además, debe soportar vibraciones, sudor y productos usados en cabello y piel (Snell Memorial Foundation, 1990). El poliestireno expandido de alta densidad cumple totalmente los requisitos de las normas Snell, por lo que es el material más utilizado a nivel comercial en cascos para ciclistas. En el presente estudio se realiza un análisis del desempeño en la protección contra lesiones craneales con el uso de casco para ciclistas sometido a pruebas de impacto mediante el programa informático de simulación de esfuerzos por

elemento finito (Nieto Miranda, 2005), evaluando el comportamiento en los esfuerzos conforme se hace variar el grosor del material sometido a pruebas de impacto. Una ilustración de esto se puede observar en la Figura 3.



Figura 3. Diseño propuesto. Imagen elaborada por Adalberto Castillo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se analizó el diseño de un casco hecho de poliestireno expandido de alta densidad con tres diferentes espesores (10 mm, 20 mm y 30 mm), para ello se hizo uso de la esfera sola y del casco sobre la esfera. En total se elaboraron cinco estudios. A cada modelo se le realizó un estudio de impacto frontal utilizando el programa de cómputo Solidworks Simulation (Dassault Systems) que consiste en un entorno virtual basado en elemento finito, esta herramienta de diseño permite predecir el comportamiento de prototipos o piezas sujetas a pruebas con un nivel de aproximación fiable (Gómez González, 2008; Gaff et al., 2015). Las condiciones para estas pruebas fueron de impacto frontal contra una superficie plana rígida a una velocidad de 8.33 m/s, que equivalen a la

velocidad media de los ciclistas de ultramaratonos (Baker et al., 1993), con una esfera de aluminio sólida de 4.75 kg (Chang et al., 2003; Mills y Gilchrist, 2008) y los tres espesores antes indicados, como se muestra en la Tabla 1.

Durante la simulación se utilizó la esfera de aluminio sólida, así como una sección de la parte frontal del casco con las características reportadas en los trabajos realizados por Mills y Gilchrist (1991). Se utilizó un mallado sólido basado en curvatura con elementos cuadráticos de alto orden de cuatro puntos jacobianos simulando el comportamiento que tendría al ser usado por una persona (Figura 4), con los esfuerzos en tensiones Von Mises (TVM), proporcionando los parámetros de nivel de protección con el uso de casco para ciclistas, como se detalla en el trabajo de Mills y Gilchrist (2008).

RESULTADOS

Estudio de impacto con una esfera

La Figura 5 muestra la zona de impacto y la



Figura 4. Casco rodeando a la esfera por la parte frontal. Imagen elaborada por Adalberto Castillo.

Tabla 1. Parámetros utilizados en los estudios realizados a la esfera y a la sección frontal del casco que rodea a la esfera sólida de aluminio

Estudio	Espesor	Esfera de Al (diámetro mm)	Aceleración (m/s ²)	Velocidad (m/s)
1	No	150	9.81	8.33
2	10	150	9.81	8.33
3	20	150	9.81	8.33
4	30	150	9.81	8.33
5	20	150	9.81	4.15

Elaboración propia.

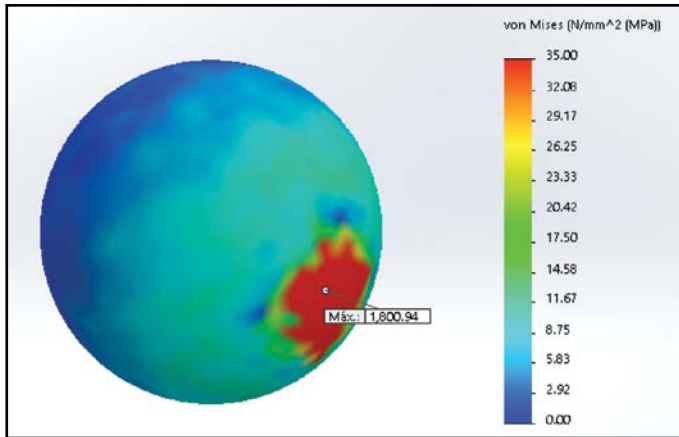


Figura 5. Resultantes del estudio de impacto frontal realizado a la esfera de aluminio sólida. Imagen elaborada por Adalberto Castillo.

distribución de los esfuerzos Von Mises mediante escala de colores, así como una nota con el nodo de máximo valor del estudio de 1,800 Mpa, sobrepasando el límite elástico del material.

Estudio de impacto con dos esferas y casco de 10 mm

A diferencia del estudio anterior, en este ensayo se aumenta el casco con espesor de 10 mm como se observa en la Figura 6, al concluir la simulación el casco se muestra separado de la esfera para observar la zona de impacto. Los valores máximos se resaltan en ambos objetos, de los cuales el casco registró el mayor valor de tensiones Von Mises 175.16 Mpa en la zona de impacto. Por su parte, la esfera presenta un valor máximo de 164.3 Mpa.

Estudio de impacto con tres esferas y casco de 20 mm

En la tercera prueba se trabaja con un espesor del

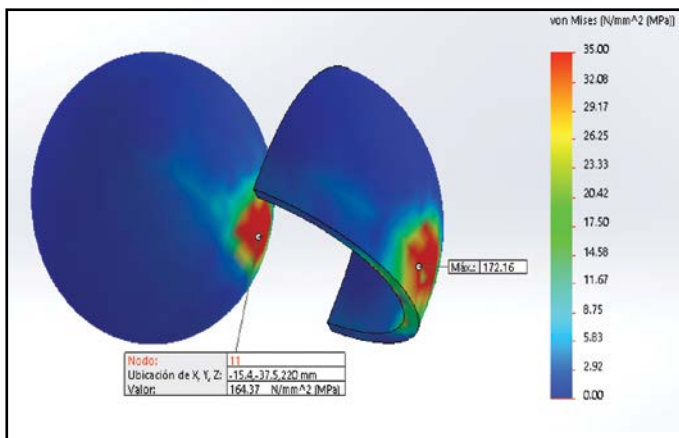


Figura 6. Imagen del estudio de impacto frontal realizado a la esfera de aluminio usando el casco de protección con grosor de 10 mm. Imagen elaborada por Adalberto Castillo.

casco de 20 mm, 100% mayor que el anterior. De las imágenes obtenidas, en la Figura 7 se observa que presentó un valor máximo en tensiones Von Mises de 92.1Mpa y la esfera alcanzó su máximo valor de 68 Mpa en el mismo nodo (nodo 11) que la prueba anterior.

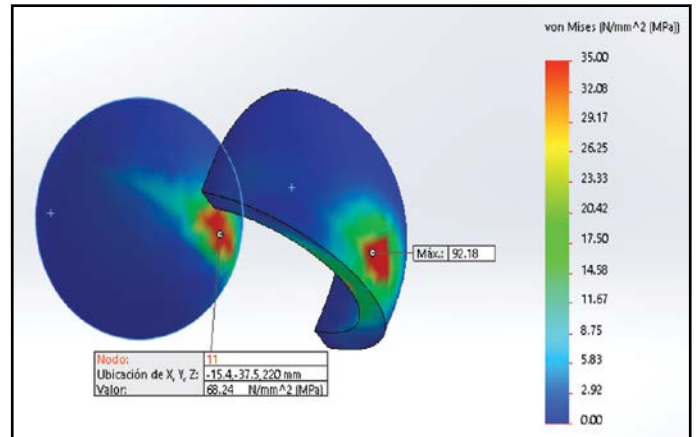


Figura 7. Imagen del estudio de impacto frontal realizado a la esfera de aluminio usando el casco de protección con grosor de 20 mm. Imagen elaborada por Adalberto Castillo.

Estudio de impacto con cuatro esferas y casco de 30 mm

En la simulación de impacto para el casco con grosor de 30 mm (Figura 8), se observa en la superficie de contacto el valor máximo de tensiones Von Mises de 63.7 Mpa, el cual es el menor en comparación con los estudios anteriores. Por su lado, la esfera presenta un valor de 43.7 Mpa en TVM, el cual es 25 Mpa menos que el espesor anterior. Los datos mostrados en los estudios colocan como menor valor

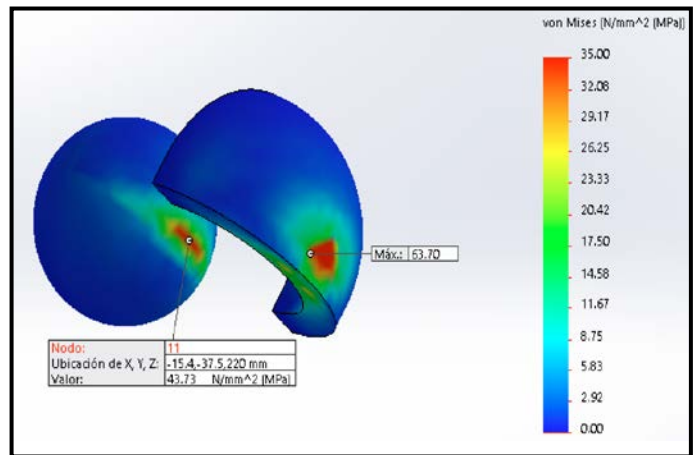


Figura 8. Imagen del estudio de impacto frontal realizado a la esfera de aluminio usando el casco de protección con grosor de 30 mm. Imagen elaborada por Adalberto Castillo.

de tensiones Von Mises máximo a la esfera que usa el casco con espesor de 30 mm.

Estudio de impacto con cinco esferas y casco de 20 mm

La Figura 9 muestra los resultados del estudio donde se disminuyó la velocidad de impacto a 4.15 m/s, que corresponde a la velocidad promedio de un ciclista en medio urbano (15 km/h), con el fin de observar el comportamiento bajo estas condiciones. Los valores máximos arrojados por este estudio son: en el casco 44 Mpa y en la esfera 26.7 Mpa en tensión Von Mises. Estos valores revelan que el esfuerzo recibido en la esfera está por debajo del límite elástico del material utilizado.

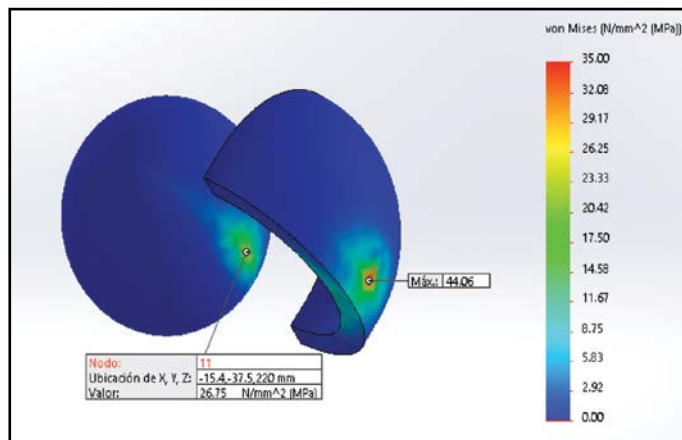


Figura 9. La imagen muestra la esfera de aluminio y el casco con grosor de 20 mm después de un impacto a 4.15 m/s (15 km/h). Imagen elaborada por Adalberto Castillo.

DISCUSIÓN

Los elementos utilizados variaron ampliamente entre los diferentes análisis realizados. En el estudio uno de la esfera sola se observaron valores que indican un fallo en el objeto debido a que se rebasó su límite elástico (35 Mpa) significativamente. En cuanto al estudio dos, el máximo valor de TVM observado en comparación con la prueba uno es claramente menor, lo cual demuestra el efecto y capacidad de protección posible al utilizar estos dispositivos.

En los estudios tres y cuatro se observa una mejora en su desempeño, puesto que se reducen los valores de tensión por debajo de la mitad de los registrados con la esfera de aluminio en el estudio uno. Sin embargo, el límite elástico del material es rebasado en ambos casos.

Un aspecto a resaltar es la diferencia en las tensiones que presenta la esfera con el de 20 mm contra el de 10 mm, cerca de los 96 Mpa, a su vez mayor que los 25 Mpa que se observan usando el doble de material (30 mm). Por su parte, en el segundo estudio, en el cual se hace uso del casco con espesor de 10 mm, se presenta un valor máximo en tensiones Von Mises mayor en comparación con los estudios posteriores, lo que lo hace el menos adecuado debido a que absorbe menos energía durante el impacto. Por los datos mostrados en los primeros cuatro estudios se concluye que el que brinda una protección adecuada es el de 20 mm de espesor, situación que es acorde con lo reportado en la literatura, lo que permite reducir el uso de material en buena parte sin dejar de lado el esfuerzo que soporta uno más robusto que este (Mills y Gilchrist, 1991). Es de resaltar que las condiciones utilizadas para dichas pruebas son a las que pudiera estar expuesto un atleta de ultramaratón; por lo cual queda de manifiesto que el riesgo de sufrir una lesión en la cabeza es alto, aun con el uso de esta protección.

Por otro lado, la quinta prueba se realizó bajo condiciones a las que se expone un ciclista promedio. Dicha prueba sugiere que un casco de protección es capaz de absorber los esfuerzos generados por el impacto. Esto a su vez se traduce en una considerable reducción de posibilidades de sufrir lesiones graves en la cabeza.

De manera general, en este estudio se observa el comportamiento de la esfera de aluminio, donde se resalta la reducción de las tensiones en el punto de impacto cuando se utiliza el de poliestireno de alta densidad. En la Tabla 2 se muestran las tensiones alcanzadas en la esfera y el porcentaje de tensiones que el casco absorbe en los diferentes impactos bajo las mismas condiciones, donde absorbe más de 90% de la energía del impacto en todos los estudios. Los datos demuestran la diferencia entre grosores, con los cuales se concluye que el grosor del mismo puede estar por debajo de los 30 mm.

CONCLUSIONES

Con la metodología por medio de análisis de elemento finito se logró el objetivo de analizar la capacidad de protección que es posible alcanzar mediante el uso de un casco de ciclista contra lesiones en la cabeza provocadas por impacto frontal. Se concluye que el casco con grosor de 20

Tabla 2. Resultados de valores máximos de TVM y el porcentaje de reducción de estas debido al grosor del casco

Grosor del casco	Tensión en área de contacto en la esfera	% de reducción de tensión
0	1800	0%
10	164,37	90%
20	68,24	96%
30	43,73	97.5%

Elaboración propia.

mm brinda el mejor desempeño cuando el ciclista se desplaza a una velocidad moderada. El análisis

de los esfuerzos se realizó con base en los resultados de tensión Von Mises en una esfera de aluminio sólida. Además se tiene que el casco absorbe una cantidad de energía superior a 90% de reducción de TVM en todos los casos analizados, suficiente como para poder reducir el daño posible hacia el objeto que protege. El estudio también revela que debe ser desechado una vez que recibió un impacto de esta magnitud, debido a que en ninguno de los casos la esfera quedó libre de esfuerzos. En otras palabras, su función es la de absorber la energía durante un impacto y reducir así las posibilidades de sufrir daños en la cabeza.

LITERATURA CITADA

- BAKER, S. P. et al. *Injuries to bicyclists: a national perspective*. Baltimore, MD, US: Johns Hopkins University, p. 91, 1993.
 - CHANG, L. T. et al. Finite element analysis of the effect of motorcycle helmet materials against impact velocity. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 26(6): 835-843, 2003.
 - GAFF, M. et al. Stress Simulation in Layered Wood-Based Materials under Mechanical Loading. *Material & Designs*, 87, 1065-1071, 2015.
 - GÓMEZ GONZÁLEZ, S. *El gran libro de Solidworks*. Editorial Alfaomega Grupo Editor, 2008.
 - LUO, Y. y LIANG, Z. Sport helmet design and virtual impact test by imagen-based finite element modeling. 35th Annual International Conference of the IEEE, EMBC (Engineering in Medicine and Biology Society), Osaka, Japan, 3-7 July, 2013.
 - LUO, Y. et al. Recent progress in application of FEM in study of non-penetrating brain injuries. *Advances in Theoretical and Applied Mechanics*, 1(225): 240, 2008.
 - MILLS, N. J. y GILCHRIST, A. Finite-element analysis of bicycle helmet oblique impacts. *International Journal of Impact Engineering*, 35(9): 1087-1101, 2008.
 - MILLS, N. J. y GILCHRIST, A. The effectiveness of foams in bicycle and motorcycle helmets. *Accident Analysis and Prevention*, 23(2): 153-163, 1991.
 - NEUMAYR, G. Effect of ultramarathon cycling on the heart rate in elite cyclists. *British Journal of Sports Medicine*, 38(1): 55-59, 2004.
 - NIETO MIRANDA, J. J. Análisis de esfuerzos de compresión en el cráneo humano por medio del método del elemento finito. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, XXVI(1): 16-21, 2005.
 - ROBERTS, O. *Manual completo de triatlón*. 1. España: Hispano europea, p. 34, 2012.
- De páginas electrónicas**
- BIZIRUTAS.COM. [Imagen]. Recuperada de <http://bizirutas.com/wp-content/uploads/As%C3%AD-funciona.jpg>
 - SÁNCHEZ, J. Ponen su vida en un casco patito. *El Universal*, Sección Nación, domingo 15 de marzo de 2015. Recuperado el 15 de marzo de 2016, de <http://archivo.eluniversal.com.mx/nacion-mexico/2015/impreso/ponen-su-vida-en-un-casco-patito-224170.html>
 - SNELL MEMORIAL FOUNDATION. Snell B90A helmet standard. As required by CPSC for helmets worn by children ages 4 years and below, B90C Addendum, 1990. Recuperado de <http://www.smf.org/standards/b/b90astd>
 - SNELL MEMORIAL FOUNDATION. *Use la cabeza y póngase un casco* [Tríptico]. North Highlands, CA, US: SNELL MEMORIAL FOUNDATION, 2015. Recuperado el 21 de marzo de 2016, de http://www.smf.org/ssec/b_span_broch.pdf
 - TATOO.WS. [Imagen]. Recuperada de <https://tattoo.ws/files/public/tips/cintasajustecasco.jpg>

TIC y la gestión del conocimiento como elementos determinantes del crecimiento de la PyME

ICT and knowledge management determining elements in the growth of SME

Luis Enrique Valdez Juárez¹, Domingo García Pérez de Lema², Gonzalo Maldonado Guzmán^{3*}

Valdez Juárez, L. E., Pérez de Lema, D. G., Maldonado Guzmán, G. TIC y la gestión del conocimiento como elementos determinantes del crecimiento de la PyME. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 50-62, enero-abril 2017.

RESUMEN

Las tecnologías de la información y comunicación (TIC) son un factor determinante para el crecimiento en la pequeña y mediana empresa (PyME) y se han vuelto imprescindibles en las actividades cotidianas de las organizaciones, principalmente en las estrategias de gestión del conocimiento (GC). Además, la actual literatura relaciona a estos indicadores como generadores de crecimiento económico y organizacional, no solo para las grandes, sino también para la PyME. La muestra está conformada por 903 empresas de la región de Murcia, España, y el objetivo principal es analizar la influencia que tienen las TIC sobre la GC y, a su vez, los efectos de las TIC y la GC sobre el crecimiento empresarial. Los hallazgos indican que el uso de las TIC tiene una influencia positiva y significativa en los procesos de GC. La utilización de TIC y GC muestra una influencia positiva en el crecimiento.

ABSTRACT

The technologies of information and communication (ICT) are a determining factor for competitiveness

Palabras clave: TIC, gestión del conocimiento, crecimiento, PyME.

Keywords: ICT, knowledge management, growth, SME.

Recibido: 22 de marzo de 2016, aceptado: 22 de septiembre de 2016

¹ Departamento de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico de Sonora unidad Guaymas, México.

² Departamento de Economía Financiera y Contabilidad, Facultad de Ciencias de la Empresa, Universidad Politécnica de Cartagena, España.

³ Departamento de Mercadotecnia, Centro de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.

* Autor para correspondencia: gmalдона@correo.uaa.mx

in the small and medium enterprises (SMEs) and have become indispensable in the daily activities of organizations, mainly in the knowledge management strategies (KM). Literature, in recent times, also relates to these business indicators as generators of economic and organizational growth not only for large companies, but also for SMEs. In this work, the sample consists of 903 companies from the region of Murcia, Spain. The main objective is to analyze the influence that ICT has on the KM and at the same time the effects of ICT and the KM on business growth. The findings indicate that the use of ICT has a positive and significant influence in the processes of KM. The use of ICT and the KM shows a positive influence in the growth of sales, but in the growth of employees there is no significant relationship.

INTRODUCCIÓN

Actualmente se ha incrementado el interés por el estudio sobre las tecnologías de la información y comunicación (TIC), dado el valor que generan en la gestión de las empresas (Martin y Matlay, 2003; Benítez Amado y Walczuch, 2012; Chen y Huang, 2012). Se ha comprobado que las TIC a través de procesos, técnicas y herramientas mejoran la toma de decisiones empresariales (Bhatt y Grover, 2005; Crawford et al., 2011) y son determinantes para el éxito en una nueva era basada en la economía del conocimiento (Rao, 2012; Stirbu et al., 2015). Además, el conocimiento por su intangibilidad se convierte en ilimitado y dinámico (Nonaka, 2007; Cohendet y Simon, 2008) y debe ser aplicado para que las metas organizacionales se logren oportunamente (Clarke y Rollo, 2001; Chawan y Vasudevan, 2013). Asimismo, la gestión del conocimiento (GC) mejora el manejo de la información (Davenport y Prusak, 1998; Mahesh

y Suresh, 2004; Davenport, 2013), y conjuntamente con las TIC facilitan la captura de la información, su acopio y el intercambio del conocimiento (Gold et al., 2001; Yew Wong y Aspinwall, 2005; Kaldi et al., 2008; Nfuka y Rusu, 2011), y son una herramienta que favorece la rentabilidad y el crecimiento de la PyME (Rowe, 2013).

Este trabajo aporta a la literatura de las TIC y GC en dos perspectivas. Primero, analiza la influencia de las TIC y de los procesos de GC sobre el crecimiento de la PyME. En la literatura existe un número moderado de estudios empíricos que analizan la influencia que tienen las TIC sobre la GC de una forma genérica (Yew Wong y Aspinwall, 2005; Tseng, 2008; Coakes et al., 2010; Pérez López y Alegre, 2012; Cohen y Olsen, 2015). Pero existe poca evidencia empírica que analice la relación existente entre las variables que miden a la GC (entrenamiento a empleados, políticas y estrategias, adquisición de conocimiento y cultura organizacional). La mayoría de los trabajos que analizan la relación entre el uso de las TIC y la GC han hecho poco énfasis en los beneficios que pueden lograr las PyME (Tseng, 2008; Cohen y Olsen, 2015). Este estudio también identifica los factores más relevantes de la GC que pueden favorecer el crecimiento de la PyME. Segundo, con respecto a la influencia que tiene la GC sobre el crecimiento en la PyME, se ha encontrado que la mayoría de los análisis empíricos se focalizan en el efecto sobre el crecimiento económico (número de clientes, ingresos por explotación, número de ventas y total de activos fijos) (Nummela et al., 2010; Hodson, 2014) y en menor medida se analiza el crecimiento de la organización en función al número de empleados (Lutchen, 2011; Tarí Guilló y García Fernández, 2011; Andreeva y Kianto, 2012).

Este estudio analiza el incremento de las ventas y de los empleados como componentes del crecimiento empresarial. Además existe una limitada evidencia empírica enfocada en la PyME en esta área del conocimiento (Chawan y Vasudevan, 2013; Piget y Kossai, 2013). Debido a la importancia del uso de las TIC para el crecimiento de las organizaciones, en el diseño de estrategias empresariales como la implementación de la GC y bajo el contexto actual de la PyME, la investigación tuvo como objetivo principal analizar la influencia que tienen las TIC sobre la GC y los efectos que generan sobre el crecimiento empresarial. Para dar cumplimiento al objetivo de investigación se ha realizado un estudio empírico analizando 903 PyME establecidas en la región de

Murcia, España. El estudio ha sido desarrollado a través de la técnica estadística de regresión lineal por MCO (mínimos cuadrados ordinarios).

Marco teórico y planteamiento de hipótesis

Las TIC contribuyen en el funcionamiento y mejora de la GC (Desouza, 2003; Tseng, 2008), y más en el entrenamiento de los empleados potenciando su conocimiento (Tunc Bozbura et al., 2007; López Nicolás y Meroño Cerdán, 2011). Por tanto, las TIC a través de herramientas como equipos y programas computacionales promueven el aprendizaje de los empleados y fortalecen el proceso de enseñanza-aprendizaje (Tiwana, 2002; Kaschig et al., 2010), pues estas prácticas contribuyen al entrenamiento del personal de la empresa (Meroño, 2005; Kamel, 2010). Asimismo, las PyME con frecuencia están explotando el capital relacional y estructural a través del uso de las TIC (Kristandl y Bontis, 2007; Ucbasaran et al., 2008; Federico et al., 2009), con la finalidad de aumentar sus competencias y mejorar la eficiencia organizacional (Rojas Mesa, 2006), ya que las TIC apoyan la gestión empresarial a través de herramientas tecnológicas como intranet, correo electrónico, teleconferencias, y otras, con una influencia significativa en la formación del capital humano (Clarysse et al., 2011; Ndubisi y Nwankwo, 2013). Adicionalmente, estudios recientes señalan que las TIC son cruciales en la transferencia y uso del conocimiento, al elevar las competencias del recurso humano (Maier, 2013; Palacios Marqués et al., 2015), y facilitan el desarrollo de sus habilidades, lo que repercute en una mayor intensidad para innovar y mejorar el crecimiento de las PyME (Haile et al., 2013; Hatzikian y Bampasis, 2015). Por tanto, de acuerdo con la información anterior es posible plantear la primera hipótesis de trabajo:

H1: A mayor adopción de las TIC, mayor nivel de entrenamiento de los empleados

Estudios recientes realizados en la PyME de distintos países de América, Europa, África y Asia, han concluido que el uso de las TIC influye positivamente en algunas prácticas empresariales y en las estrategias para la GC (Wolff y Pett, 2006; Ca'Zorzi, 2011). Además, se ha encontrado que las capacidades de infraestructura tecnológicas son herramientas mediadoras en el establecimiento de las políticas y estrategias empresariales, lo cual permite una mejor gestión del capital humano (Erden et al., 2014). Asimismo, López Nicolás y Meroño Cerdán (2011) y Cohen y Olsen (2015) concluyeron que

existe una relación significativa entre las políticas de protección y codificación del conocimiento y las TIC. También se afirma que ayudan en el despliegue de las políticas que regulan el conocimiento, la protección de documentos electrónicos, patentes, fórmulas e invenciones (Majors, 2010; Tsui et al., 2014). Por otra parte, existe evidencia empírica que demuestra que las TIC apoyan el establecimiento de políticas empresariales que fortalecen el conocimiento de los empleados, ayudan en las relaciones con los clientes, en el conocimiento de la competencia y en la búsqueda de nuevos mercados (Elder et al., 2013; Spagnol Fedoce et al., 2015). Por ello, en función de la revisión teórica y empírica se plantea la siguiente hipótesis:

H2: A mayor uso de las TIC, mayor influencia en el diseño de políticas y estrategias de GC

Las TIC son esenciales en el entorno actual de los negocios y se consideran una herramienta capaz de gestionar, adquirir y transmitir el conocimiento estructural (Davenport y Prusak, 1998; Tseng, 2008; Crawford et al., 2011). Por ello, las TIC se han convertido en un elemento determinante en el diseño de estrategias que favorecen el crecimiento de la PyME (Alemna y Sam, 2006; Zhang et al., 2008). Identifican las habilidades y determinan el uso eficiente del conocimiento existente y promueven la generación del nuevo conocimiento (Metaxiotis, 2009; Chadha y Saini, 2012). Por ello las TIC son cruciales en la toma de decisiones y en la implementación de un sistema de GC (Guitert et al., 2007; Kaschig et al., 2010). Adicionalmente, Lai et al. (2011) y Wang y Wang (2012) concluyeron que la adquisición de conocimientos a través del uso de las TIC mejora significativamente la innovación tecnológica y el crecimiento de la PyME. López Nicolás y Soto Acosta (2010) encontraron que las TIC tienen una relación significativa en el incremento de la adquisición y creación del conocimiento. Moffett y Hinds (2010) y Pérez López y Alegre (2012) consideraron que las competencias de dichas tecnologías facilitan los procesos de captura de conocimientos. Finalmente, Andreasson (2015) consideró que los directivos deben de invertir en las mismas para mejorar los procesos de adquisición, transferencia y uso del conocimiento, con la finalidad de potenciar el capital intelectual de la organización. Ello lleva a plantear la siguiente hipótesis:

H3: A mayor adopción de las TIC, mayor influencia en la adquisición del conocimiento

Existe evidencia empírica que demuestra que las TIC y las prácticas de GC contribuyen sustancialmente en el desarrollo de la cultura basada en el trabajo de equipo entre los departamentos, lo cual mejora significativamente el conocimiento de la organización (Edwards, 2005; Kane et al., 2006; Hislop, 2013; Bourke y Crowley, 2015). Con el uso de las TIC se fortalece la GC, ello permite que el personal se comprometa más con la empresa y se refuercen la ética profesional y los principios corporativos (Tseng, 2008; Ordóñez de Pablos y Edvinsson, 2015). La adopción de las tecnologías estudiadas (herramientas tecnológicas como correo electrónico, tutoriales, video digital y las redes) en las PyME tienen una fuerte influencia en la cultura organizacional (Huang y Shih, 2009; Moheno y Vallés, 2009), por medio de ellas es factible transmitir información a los empleados, como valores institucionales, código de ética, filosofía corporativa y actividades de integración, lo cual puede fortalecer la cultura organizacional (Jennex, 2005; Kodama, 2008). La PyME aún está luchando por utilizar herramientas y técnicas novedosas, como los repositorios soportados en sistemas tecnológicos con la finalidad de establecer una cultura que promueva la transferencia del conocimiento (Bechhofer et al., 2010; Coakes et al., 2010). Estudios recientes indican una relación estrecha entre las TIC y la cultura organizacional, factores determinantes en la estrategia exitosa de la GC en la PyME (Malekifar et al., 2014). Se emite la siguiente hipótesis:

H4: A mayor uso de las TIC, mayor influencia en la cultura organizacional

La GC son prácticas relacionadas con la creación, adquisición, transferencia y uso del conocimiento que se genera al interior y exterior de la organización (Swan et al., 1999; Erickson y Rothberg, 2012), por lo cual las PyME que adopten prácticas de GC tienden a lograr un mayor nivel de crecimiento (Edvardsson y Durst, 2013). Las prácticas de GC por lo regular conducen al logro de un mayor nivel de rentabilidad, elevan los ingresos e inciden en el incremento de los empleados (Lee y Choi, 2003; Hana, 2013). A medida que la empresa va creciendo el número de empleados también lo hace, lo que complica la GC y las actividades

de los recursos humanos (Cardy y Lengnick Hall, 2011; Mello, 2011), ya que con el crecimiento de los empleados las empresas tienen una mayor dificultad para transferir y controlar el conocimiento (North y Kumta, 2014). Por ello, el incremento del personal tiene una relación significativa con los procesos de GC y con el crecimiento económico (OECD, 2010; Ndubisi y Nwankwo, 2013). A mayor personal es evidente que se genera mayor valor (conocimiento) (Nonaka, 2007; Zalesna, 2014). Recientes estudios empíricos indican que los procesos de GC son una estrategia que permite incrementar las ventas de las PyME (Lee et al., 2008; Tarí Guilló y García Fernández, 2011), y mejoran significativamente su rendimiento económico (Carrillo et al., 2008; Pattanayak, 2014). Las PyME están adoptando a la GC para mejorar no solamente sus procesos, sino también para obtener un mayor crecimiento económico (Constantinescu, 2009; Huang y Shih, 2009), pues se ha demostrado que la GC contribuye significativamente en ellas para obtener más clientes y mayores ventas (Van der Weide, 2012; Martín Rojas et al., 2014). De lo anterior se hace el siguiente planteamiento:

H5: A mayor utilización de la GC, mayor crecimiento de los ingresos

H6: A mayor utilización de la GC, mayor generación de empleo

La actual literatura establece que la adopción de las TIC en las empresas se ha realizado con el fin de influir en la productividad (Van Grembergen et al., 2004; Vogelsang, 2010), ignorando su influencia en el capital humano (Newell, 2002) y descuidando un poco el crecimiento organizacional. Existe evidencia empírica que indica que la incorporación de las TIC en la PyME facilita la obtención de resultados económicos y financieros (Rangan y Adner, 2001; Ca'Zorzi, 2011). En un estudio reciente Ghobakhloo et al. (2011) llegaron a la conclusión de que la adopción de TIC en este tipo de empresas incide en su nivel de competitividad y crecimiento. De igual manera, Torrent Sellens y Ficapal Cusí (2010) y Benítez Amado y Walczuch (2012) demostraron que las TIC están fuertemente correlacionadas con el crecimiento y la rentabilidad de las empresas. Estos resultados coinciden con los obtenidos en los estudios de Andreeva y Kianto (2012) y Sung y Choi (2012).

El uso estratégico de las TIC también influye en el crecimiento organizacional (número de empleados), cuota de mercado y rendimiento

financiero (Moheno y Vallés, 2009; Prieger y Heil, 2009), ya que las TIC mejoran las actividades del individuo y permiten controlar la productividad de cada empleado (Wessels, 2014). Con el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas se ha reducido el número de empleados en las empresas (Van der Weide, 2012; Audretsch y Welfens, 2013). Además, las TIC han provocado una mayor automatización de los procesos productivos, de servicios y comerciales, lo que incide en la disminución de los empleados (Ashford y Hall, 2011; Torres Coronas, 2012). Asimismo, estudios recientes señalan que con las TIC y la alineación de una estrategia basada en innovación tecnológica se logran altos niveles de competitividad, se elevan las ventas y se mejoran las habilidades de los empleados de las PyME (Piget y Kossai, 2013). De lo anterior se hace el siguiente planteamiento:

H7: A mayor utilización de las TIC, mayor crecimiento de los ingresos

H8: A mayor utilización de las TIC, mayor generación de empleo

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la validación de las hipótesis planteadas en la investigación se desarrolló un estudio empírico en PyME de la región de Murcia, España. La muestra fue establecida a partir de la información del DIRCE (Directorio Central de Empresas) del INE (Instituto Nacional de Estadística), y no se incluyeron empresas de menos de cinco trabajadores. El tamaño muestral fue determinado para lograr que el margen de error máximo para la estimación de una proporción fuese inferior a 0.03 puntos con un nivel de confianza de 95% (ver Tabla 1). La recolección de datos se realizó durante los meses de abril a julio de 2010, una muestra de 903 empresas (ver Tabla 2). La técnica para recolectar la información fue mediante entrevista personal mediante un cuestionario autoadministrado dirigido al gerente de la empresa (ver Tabla 3).

Las empresas que rechazaron participar en el estudio fueron reemplazadas por una empresa similar de la misma actividad y área geográfica. El sesgo de no respuesta fue analizado de acuerdo con las recomendaciones de Nwachukwu et al. (1997). Las empresas que dieron respuesta en la primera ronda correspondió a 80% de la muestra, y se compararon con las respuestas de las que respondieron por sustitución (20% de la muestra). De todas las variables consideradas no surgieron diferencias significativas

entre los dos grupos utilizando las pruebas *t* de Student y chi-cuadrada.

Variable dependiente

En relación con las variables de crecimiento empresarial, se han medido utilizando la variación de las ventas y del número de empleados, las mismas se determinan entre los años 2008 y 2009 y se transforman a través de un logaritmo neperiano. El análisis de las ventas ha sido utilizado para medir el crecimiento empresarial, como por ejemplo en estudios previos de Nummela et al. (2010) y Hodson (2014), y el crecimiento de los empleados en los estudios de Lutchen (2011), Tarí Guilló y García Fernández (2011) y Andreeva y Kianto (2012).

Variable independiente

En relación con la medición de la variable uso de las TIC se consideraron algunos elementos del modelo de adopción y preparación tecnológica sugerido por Molla y Licker (2005) y Majors (2010) y con las proxys utilizadas por Bascavusoglu Moreau y Colakoglu (2013). Se pidió a los gerentes de las PyME seleccionadas que informaran a través de 10 preguntas si en su empresa disponían o no de ellas (1= Sí y 0= No): 1. ¿Utiliza las nuevas tecnologías

para la gestión organizativa de la empresa?, 2. ¿Se considera bien informado sobre las posibilidades y ventajas de las TIC en la empresa?, 3. ¿Considera necesario que se incentive la formación sobre aplicación TIC en la empresa?, 4. ¿Tiene su empresa conexión a internet?, 5. ¿Dispone de página web?, 6. ¿Dispone de correo electrónico?, 7. ¿Realiza compras electrónicas usando internet?, 8. ¿Realiza su empresa teletrabajo?, 9. ¿Realiza venta electrónica usando internet? y 10. ¿Realiza marketing usando internet?

Para la medición de la GC se utilizaron cuatro dimensiones, medidas en una escala tipo Likert de 5 puntos (1= desacuerdo, 5= total acuerdo): (1) Entrenamiento de los empleados, medido con 4 ítems y adaptada de Liebowitz (1999), Foray y Gault (2003) y Kristandl y Bontis (2007); (2) Políticas y estrategias de la gestión del conocimiento, medido con 9 ítems y adaptada de Tunc Bozbura et al. (2007) y López Nicolás y Meroño Cerdán (2011); (3) Captura del conocimiento externo, medida con 5 ítems y adaptada de Gold et al. (2001), Foray y Gault (2003) y Tunc Bozbura et al. (2007), y (4) Efectos de la cultura organizacional, medida con 4 ítems y adaptada de Foray y Gault (2003) y Tunc Bozbura et al. (2007).

Tabla 1. Diseño de la investigación

Características	Investigación
Población	Pequeñas y Medianas Empresas
Área geográfica	Murcia (España)
Muestra	PyME de 5 a 250 empleados
Método de recolección de información	Entrevistas personales a los gerentes
Método de muestreo	Muestreo simple aleatorio
Tamaño de la muestra	903 PyME
Error del muestreo	(+/- 3%) error, nivel de confiabilidad de 95% ($p=q=0.5$)
Trabajo de campo	Abril-julio de 2010

En la tabla se muestra el diseño de la investigación utilizada en el estudio. Elaboración propia.

Tabla 2. Características de la muestra

Sector	Número de empresas	Porcentaje total
Industrial	418	46.3
Construcción	186	20.6
Servicios	153	16.9
Comercio	146	16.2
Total	903	100

Información de las principales características de la muestra utilizada en el estudio. Elaboración propia.

Tabla 3. Cuestionario

1 Indique los valores de las siguientes variables, así como la tendencia para el año 2010:					
	2008	2009	Tendencia 2010		
Crecimiento empresarial			+	=	-
Ingresos de la explotación (euros)			1	2	3
No. medio de empleados			1	2	3
Entrenamiento					
2 Por favor indique si su empresa...	TD	D	N	A	TA
1 Proporciona a sus empleados una formación formal relacionada con la GC	1	2	3	4	5
2 Proporciona a sus trabajadores una formación informal relacionada con la GC	1	2	2	4	5
3 Utiliza prácticas formales de asesoría para sus trabajadores	1	2	3	4	5
Políticas y estrategias					
3 Por favor indique si su empresa...	TD	D	N	A	TA
1 Apoya el desarrollo de ideas	1	2	3	4	5
2 Tiene un rápido acceso a la información que requiere	1	2	3	4	5
3 Tiene procedimientos establecidos de apoyo a la innovación	1	2	3	4	5
4 Tiene un sistema burocrático	1	2	3	4	5
5 Tiene acceso a las bases de datos de manera rápida	1	2	3	4	5
6 Tiene acceso a la información sin ninguna limitación	1	2	3	4	5
7 Tiene un conocimiento claro del sistema industrial de manufactura					
Adquisición del conocimiento					
4 Por favor indique si su empresa...	TD	D	N	A	TA
1 Utiliza el conocimiento obtenido de otras fuentes industriales	1	2	3	4	5
2 Utiliza el conocimiento obtenido de universidades y centros de investigación	1	2	3	4	5
3 Dedicar recursos para la obtención de conocimiento de organismos externos	1	2	3	4	5
4 Utiliza el internet para la obtención del conocimiento externo	1	2	3	4	5
5 Alienta a sus trabajadores a participar en proyectos en equipo con expertos	1	2	3	4	5
Cultura organizacional					
5 Por favor indique si su empresa...	TD	D	N	A	TA
1 Alienta a directivos y trabajadores a transferir conocimientos a los empleados	1	2	3	4	5
2 Tiene un sistema de valores y promoción cultural entre sus trabajadores	1	2	3	4	5
3 Motiva constantemente a sus empleados a trabajar en equipo	1	2	3	4	5
4 Alienta a los empleados a desarrollar nuevas ideas y a expresar opiniones	1	2	3	4	5
Uso de las TIC					
6 Por favor indique si su empresa utiliza las TIC...	Sí= 1	No= 2			
1 ¿Dispone de página WEB?					
2 ¿Dispone de correo electrónico?					
3 ¿Realiza venta electrónica usando internet?					
4 ¿Realiza compras electrónicas usando internet?					
5 ¿Realiza marketing usando internet?					
7 ¿Realiza compras electrónicas usando internet?					
8 ¿Realiza su empresa teletrabajo?					
9 ¿Realiza venta electrónica usando internet?					
10 ¿Realiza marketing usando internet?					

En la tabla se muestran las preguntas contenidas en el cuestionario utilizado en la investigación.

TD= Total desacuerdo, D= Desacuerdo, N= Neutral, A= Acuerdo, TA= Total acuerdo. Elaboración propia.

Variables de control

El tamaño de la empresa se midió a través del número medio de empleados del año 2009, y la edad de la empresa fue medida por el número de años transcurridos desde la constitución o puesta en marcha de las operaciones de la empresa.

RESULTADOS

Para validar las hipótesis que se formularon en la investigación y verificar la relación entre las TIC, la GC y el crecimiento empresarial, se utilizó el modelo de regresión lineal por MCO. La técnica estadística elegida es la que mejor se adapta al objetivo de la investigación y a la naturaleza de las variables en estudio, con el fin de corroborar con mayor precisión las hipótesis. Los modelos desarrollados son los siguientes:

Modelo 1. Entrenamiento (GC) $_i = \beta_0 + \beta_{1x} \text{TIC (uso)}_i + \xi$

Modelo 2. Políticas y estrategias (GC) $_i = \beta_0 + \beta_{1x} \text{TIC (uso)}_i + \xi$

Modelo 3. Adquisición de conocimiento externo (GC) $_i = \beta_0 + \beta_{1x} \text{TIC (uso)}_i + \xi$

Modelo 4. Cultura organizacional (GC) $_i = \beta_0 + \beta_{1x} \text{TIC (uso)}_i + \xi$

Modelo 5. Crecimiento empresarial $_i = \beta_0 + \beta_{1x} \text{TIC (uso)}_i + \beta_{2x} \text{Tamaño de la empresa} + \beta_{3x} \text{Edad de la empresa} + \xi$

Modelo 6. Crecimiento empresarial $_i = \beta_0 + \beta_{1x} \text{GC (Entrenamiento, Políticas, Adquisición del conocimiento y Cultura organizacional)}_i + \beta_{2x} \text{Tamaño de la empresa} + \beta_{3x} \text{Edad de la empresa} + \xi$

En la Tabla 4 se presentan las relaciones entre las TIC y las cuatro dimensiones que miden la GC. En este sentido se comprueba que existe una relación positiva significativa en todas las dimensiones de GC. En efecto, se aprecia cómo las TIC tienen una relación positiva y significativa sobre el entrenamiento de los empleados ($\beta = 0.221, p < 0.01$), al igual que sobre las estrategias y políticas de gestión ($\beta = 0.351, p < 0.01$), sobre la adquisición del conocimiento externo ($\beta = 0.335, p < 0.01$) y sobre la cultura organizacional ($\beta = 0.335, p < 0.01$). Si se comparan las β estandarizadas se puede ver que el mayor impacto de las TIC se produce en la dimensión de estrategias y políticas de las PyME.

Tabla 4. Relación entre variables (TIC y GC)

Variables	Valor de β	Valor de t	Valor de f	R^2 Ajustado
TIC -> Entrenamiento de los empleados	0.221***	6,813	46,424***	.048
TIC -> Estrategias y políticas	0.351***	11,257	56,726***	.122
TIC -> Adquisición de conocimiento	0.335***	10,680	44,068***	.112
TIC -> Cultura organizacional	0.169***	5,142	26,441***	.029

La tabla muestra el coeficiente estandarizado de cada hipótesis, el valor del estadístico t de Student y el R^2 ajustado.

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$. Elaboración propia.

Tabla 5. Relación entre variables (GC y Crecimiento empresarial)

Variables	Crecimiento (ingresos)	Crecimiento (empleados)
Gestión del conocimiento (GC)	0.010* (1,025)	0.043 (1,345)
Tamaño de la empresa	0.110*** (2,906)	0.369*** (11,265)
Edad de la empresa	0.011 (,993)	-0.025 (-,476)
VIF más alto	1,082	1,088
Valor de f	3,399**	47,907***
R^2 Ajustado	0.012	0.139

Debajo de cada coeficiente estandarizado, entre paréntesis, se muestra el valor t de Student.

VIF más alto 1,088.

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$. Elaboración propia.

En la Tabla 5 se presentan las estimaciones de la relación entre las dimensiones de la GC y el crecimiento de las ventas (H5) y de los empleados (H6). En ella se aprecia que la GC muestra efectos positivos significativos sobre el crecimiento de las ventas ($\beta = 0.010, p < 0.10$), pero no sobre el crecimiento de los empleados ($\beta = 0.043$). Además, el tamaño de la empresa manifiesta una influencia positiva significativa sobre el crecimiento de las ventas ($\beta = 0.110, p < 0.01$) y en el crecimiento de los empleados ($\beta = 0.369, p < 0.01$). La edad de la empresa no muestra influencia positiva ni significativa sobre el crecimiento en los ingresos ($\beta = 0.011$), al igual que en el crecimiento de los empleados ($\beta = -0.025$). Para validar el modelo de regresión lineal de las hipótesis H5 y H6 se ha contrastado la R^2 ajustada con valores de (0.012) y (0.139) y valores en F de (3,399***) y (47,907***). Las variables independientes

del modelo de regresión lineal muestran un valor de inflación de la varianza (VIF) cercano a la unidad de (1,084) y (1,088). Se descarta la presencia de multicolinealidad.

Tabla 6. Relación entre variables (TIC y Crecimiento empresarial)

Variables	Crecimiento (ingresos)	Crecimiento (empleados)
TIC	0,098*** (2,559)	0,051 (1,478)
Tamaño de la empresa	0,095** (2,555)	0,368*** (11,259)
Edad de la empresa	0,018 (,249)	-0,010 (-,392)
VIF más alto	1,078	1,082
Valor de <i>f</i>	5,761***	48,173***
R ² Ajustado	0,021	0,143

Debajo de cada coeficiente estandarizado, entre paréntesis, se muestra el valor *t* de Student.

VIF más alto 1,082.

*: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, ***: $p < 0,001$. Elaboración propia.

La Tabla 6 presenta los resultados de la relación entre las TIC y el crecimiento de las ventas (H7) y de los empleados (H8). Los resultados indican que las TIC ejercen influencia positiva y significativa sobre el crecimiento de las ventas ($\beta = 0,098$, $p < 0,01$), pero no para el crecimiento de los empleados ($\beta = 0,051$), con lo cual se confirma que cuando la PyME tiene mayor infraestructura tecnológica se reduce el número de empleados. Además, el tamaño de la empresa influye de modo positivo y significativo sobre el crecimiento de las ventas ($\beta = 0,095$, $p < 0,05$) y sobre el crecimiento de los empleados de la PyME ($\beta = 0,368$, $p < 0,01$). Además, la antigüedad de la empresa no muestra efectos positivos significativos sobre el crecimiento de los ingresos ($\beta = 0,018$), ni con el crecimiento de los empleados ($\beta = -0,010$). Para validar el modelo de regresión lineal de las hipótesis H7 y H8 se contrastó la R^2 ajustada, con valores de 0,021 y 0,143, y un valor en *F* de 5,761*** y 48,173***. Las variables independientes del modelo de regresión lineal muestran un valor de inflación de la varianza (VIF) cercano a la unidad de 1,078 y 1,082, y se elimina la presencia de multicolinealidad.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que las TIC son un factor clave en la mejora de las actividades empresariales y para la GC, lo que permite elevar los índices de rentabilidad y crecimiento de las PyME (Majors, 2010; Cohen y Olsen, 2015). Aunque

no existe un método y/o técnica apropiada para la implementación de un sistema de GC (Tseng, 2008), queda confirmado que para lograr un mayor rendimiento empresarial es vital el uso de las TIC (Darroch, 2005; Chawan y Vasudevan, 2013). Estos resultados demuestran que su uso mejora sustancialmente: 1) las competencias del capital humano, 2) la comunicación de las estrategias y políticas, y 3) la promoción de la cultura organizacional (Tseng, 2008; Battistella et al., 2016). Es un excelente medio para adquirir más y mejor conocimiento en la PyME, lo que la convierte en una fuente de ventaja competitiva (Yew Wong y Aspinwall, 2005; Andersen, 2015).

El resultado más notable que se encontró en el estudio es que el uso de las TIC influyen significativamente en las políticas y estrategias de la GC de la PyME, resultados que están alineados con la literatura (Allameh y Abbas, 2010; Clarysse et al., 2011; Zawawi et al., 2011). También tiene un efecto positivo y significativo en la adquisición del conocimiento, ya que son el medio más importante en la actualidad para generar y adquirir conocimiento en las empresas (Tseng, 2008; Davenport, 2013), y son la fuente más importante para la generación de nuevo conocimiento en la PyME (Moffett y Hinds, 2010; Pérez López y Alegre, 2012). Con respecto a la relación entre las TIC y el entrenamiento de los empleados, los resultados obtenidos son similares a los obtenidos por Bolívar Ramos et al. (2012) y Glaub et al. (2014), ya que las mismas mejoran las competencias del capital humano y la formación de los empleados (Tunc Bozburu, 2007).

La influencia que tienen las TIC sobre la cultura organizacional en los resultados obtenidos fueron semejantes a los obtenidos por Alavi et al. (2005) y Zerwas (2014) al afirmar que su uso mejora la cultura organizacional y fortalece los valores y principios en la empresa. Adicionalmente, se ha encontrado que contribuyen positivamente en el crecimiento de los ingresos de las PyME, resultados que tienen similitud con la literatura, con ello se corrobora que existe una correlación significativa entre ambas variables (Ca'Zorzi, 2011). La GC permite un crecimiento de las ventas en las empresas y es un elemento determinante para mejorar sus procesos, aumentar la eficiencia y obtener mayores ventas, lo que conduce a un mayor crecimiento empresarial (Constantinescu, 2009; Huang y Shih, 2009; Young y Milton, 2011). Finalmente, no se encontró evidencia empírica para la relación entre el uso de las TIC y



Figura 1. Se estudia la influencia de las TIC en el funcionamiento de las PyME. Imagen obtenida del sitio electrónico Servicio de atención al cliente.com.

el crecimiento de los empleados, lo que corrobora la influencia negativa que expone la literatura. No se encontró evidencia empírica para la relación entre las prácticas de GC y el crecimiento de los empleados en la PyME.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos es posible concluir que: 1) el uso de las TIC es crucial en el desarrollo exitoso de un proceso de GC, lo que permite fortalecer las prácticas empresariales como el despliegue de las estrategias y políticas, la captura del conocimiento y de la información, la capacitación de los empleados y la mejora de la cultura organizacional dentro de la empresa pequeña y mediana; 2) tiene incidencia en el crecimiento económico de la PyME y 3) la misma deberá seguir fortaleciendo la infraestructura tecnológica y sus procesos de GC para mejorar el crecimiento empresarial. Este estudio tiene una serie de implicaciones que pueden conducir

al fortalecimiento de la dirección estratégica y al desarrollo empresarial de la PyME. De esta forma es esencial que los dueños de las empresas consideren su uso como un soporte en los procesos de GC para obtener mejores resultados y una fuerte ventaja competitiva (Ca'Zorzi, 2011; Jneid y Tannous, 2012; Rebic y Sarenac, 2014). Los directivos deben considerar dentro de sus objetivos el uso de las TIC como un medio para proteger y potenciar el conocimiento del capital humano, lo que se convierte en un reto y en una oportunidad para la PyME en su camino hacia el éxito (Tseng, 2008; Cohen y Olsen, 2015).

La investigación presenta también algunas limitaciones, como es el caso de la muestra utilizada, ya que solamente se consideró la opinión de los directivos y/o gerentes, se puede contemplar a futuro información de empleados y clientes. La información recopilada puede conducir al sesgo de los resultados, debido a que los datos fueron obtenidos de percepciones subjetivas emitidas por los directivos de la PyME.

En segundo lugar, la muestra ha sido enfocada en las PyME, puede extenderse a otros sectores productivos y a los grandes corporativos para poder comparar los resultados.

Otra limitación la constituyen las escalas utilizadas para la medición de la GC, pues se consideraron únicamente variables reflectivas con adaptaciones de escalas de otros investigadores, por lo que sería aceptable la utilización de variables de tipo reflectivo-formativo. Además, en la medida para el uso de las TIC se consideraron solamente variables de tipo nominal con preguntas dicotómicas.

LITERATURA CITADA

- ALAVI, M. et al. An empirical examination of the influence of organizational culture on knowledge management practices. *Journal of Management Information Systems*, 22(3): 191-224, 2005.
- ALEMNA, A. A. y SAM, J. Critical issues in information and communication technologies for rural development in Ghana. *Information Development*, 22(4): 236-241, 2006.
- ALLAMEH, S. M. y ABBAS, S. K. The relationship between knowledge management practices and innovation level in organizations: case study of sub-companies of selected corporations in the city of Esfahan. *Journal of Business Case Studies*, 6(1): 1-15, 2010.
- ANDERSEN, T. K. Employees' involuntary non-use of ICT influenced by power differences: a case study with the grounded theory approach. *IJIKM*, 10: 117-143, 2015.
- ANDREASSON, K. (Ed.). *Digital Divides: The new challenges and opportunities of e-inclusion*. New York, NY, US: CRC Press, 2015.
- ANDREEVA, T. y KIANTO, A. Does knowledge management really matter? Linking knowledge management practices, competitiveness and economic performance. *Journal of Knowledge Management*, 16(4): 617-636, 2012.
- ASHFORD, N. A. y HALL, R. P. *Technology, Globalization, and Sustainable Development: Transforming the Industrial State*. London, UK: Yale University Press, 2011.
- AUDRETSCH, D. B. y WELFENS, P. J. J. *The New Economy and Economic Growth in Europe and the US*. Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- BASCAVUSOGLU MOREAU, E. y COLAKOGLU, M. Impact of SME policies on innovation capabilities: The Turkish case. 9. In I. Hakan Yetkiner et al. (Eds.), *Industrial Dynamics, Innovation Policy, and Economic Growth through Technological Advancements* (pp. 159-184). IGI Global, 2013.
- BATTISTELLA, C. et al. Inter-organisational technology/knowledge transfer: a framework from critical literature review. *The Journal of Technology Transfer*, 41(5): 1195-1234, 2016.
- BENÍTEZ AMADO, J. y WALCZUCH, R. M. Information technology, the organizational capability of proactive corporate environmental strategy and firm performance: a resource-based analysis. *European Journal of Information Systems*, 21(6): 664-679, 2012.
- BHATT, G. D. y GROVER, V. Types of information technology capabilities and their role in competitive advantage: An empirical study. *Journal of Management Information Systems*, 22(2): 253-277, 2005.
- BOLÍVAR RAMOS, M. T. et al. Technological distinctive competencies and organizational learning: Effects on organizational innovation to improve firm performance. *Journal of Engineering and Technology Management*, 29(3): 331-357, 2012.
- BOURKE, J. y CROWLEY, F. The role of hrm and ict complementarities in firm innovation: evidence from transition economies. *International Journal of Innovation Management*, 19(5): 50-54, 2015.
- CARDY, R. L. y LENGNICK HALL, M. L. Will they stay or will they go? Exploring a customer-oriented approach to employee retention. *Journal of Business and Psychology*, 26(2): 213-217, 2011.
- CARRILLO, F. J. et al. Knowledge-based capital in building regional innovation capacity. *Journal of Knowledge Management*, 12(5): 121-136, 2008.
- CA'ZORZI, A. Adoption and use of information systems and technology in manufacturing small and medium-sized enterprises. *European Journal of Information Systems*, 12, 127-141, 2011.
- CHADHA, S. K. y SAINI, R. Key enablers in the implementation of KM practices: an empirical study of software SMEs in North India. *The IUP Journal of Knowledge Management*, X(4): 59-85, 2012.
- CHAWAN, A. N. y VASUDEVAN, H. Modeling knowledge management barriers in the Indian manufacturing SMEs using ISM approach. *The IUP Journal of Knowledge Management*, XI(4): 36-52, 2013.
- CHEN, Y. Y. y HUANG, H. L. Knowledge management fit and its implications for business performance: A profile deviation analysis. *Knowledge-based systems*, 27, 262-270, 2012.
- CLARKE, T. y ROLLO, C. Corporate initiatives in knowledge management. *Education+ Training*, 43(4/5): 206-214, 2001.
- CLARYSSE, B. et al. Entrepreneurial origin, technological knowledge, and the growth of spin-off companies. *Journal of Management Studies*, 48(6): 1420-1442, 2011.
- COAKES, E. et al. Knowledge management, strategy, and technology: a global snapshot. *Journal of Enterprise Information Management*, 23(3): 282-304, 2010.
- COHEN, J. F. y OLSEN, K. Knowledge management capabilities and firm performance: A test of universalistic, contingency and complementarity perspectives. *Expert Systems with Applications*, 42(3): 1178-1188, 2015.
- COHENDET, P. y SIMON, L. Knowledge intensive firms, communities and creative cities 1. In A. AMIN y J. ROBERTS (Eds.), *Community, Economic Creativity, and Organization* (pp. 227-253). UK: Oxford University Press, 2008.
- CONSTANTINESCU, M. Knowledge management: focus on innovation and labor productivity in a knowledge-based economy. *The IUP Journal of Knowledge Management*, 7(1): 7-33, 2009.
- CRAWFORD, J. et al. The human resource's influence in shaping IT competence. *Industrial Management & Data Systems*, 111(2): 164-183, 2011.

- DARROCH, J. Knowledge management, innovation and firm performance. *Journal of Knowledge Management*, 9(3): 101-115, 2005.
- DAVENPORT, T. H. *Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology*. Boston, MA, US: Harvard Business Press, 2013.
- DAVENPORT, T. H. y PRUSAK, L. *Working Knowledge: How Organizations Manage what they know*. Boston, MA, US: Harvard Business Press, 1998.
- DESOUZA, K. C. Facilitating tacit knowledge exchange. *Communications of the ACM*, 46(6): 85-88, 2003.
- EDVARDSSON, I. R. y DURST, S. The benefits of knowledge management in small and medium-sized enterprises. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 81, 351-354, 2013.
- EDWARDS, A. Let's get beyond community and practice: the many meanings of learning by participating. *The Curriculum Journal*, 16(1): 49-65, 2005.
- ELDER, L. et al. *Connecting ICTs to Development: The IDRC Experience*. New York, NY, US: Anthem Press, 2013.
- ERDEN, Z. et al. Knowledge-flows and firm performance. *Journal of Business Research*, 67(1): 2777-2785, 2014.
- ERICKSON, G. S. y ROTHBERG, H. *Intelligence in Action: Strategically Managing Knowledge Assets*. New York, NY, US: Palgrave Macmillan, 2012.
- FEDERICO, J. et al. Factores determinantes del crecimiento en empresas jóvenes. Evidencias de una comparación internacional. En *Nuevas empresas en América Latina: factores que favorecen su rápido crecimiento*. 1 (pp. 21-31). España: Universitat Autònoma de Barcelona, 2009.
- FORAY, D. y GAULT, F. Measurement of knowledge management practices. In *Measuring Knowledge Management in the Business Sector*. Canada: OECD/Minister of Industry, 2003.
- GHOBAKHLOO, M. et al. Information technology adoption in Small and Medium-sized Enterprises; An appraisal of two decades literature. *Interdisciplinary Journal of Research in Business*, 1(7): 53-80, 2011.
- GLAUB, M. E. et al. Increasing personal initiative in small business managers or owners leads to entrepreneurial success: a theory-based controlled randomized field intervention for evidence-based management. *Academy of Management Learning & Education*, 13(3): 354-379, 2014.
- GOLD, A. H. et al. Knowledge management: An organizational capabilities perspective. *Journal of Management Information Systems*, 18(1): 185-214, 2001.
- GUITERT, M. et al. Competencias TIC y trabajo en equipo en entornos virtuales. *RUSC. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento*, 4(1): 1-14, 2007.
- HAILE, G. A. et al. The impact of globalization and technology transfer on manufacturing employment and skills in Ethiopia. *IZA Discussion Paper*, 7820 1-25, 2013.
- HANA, U. Competitive advantage achievement through innovation and knowledge. *Journal of Competitiveness*, 5(1): 82-96, 2013.
- HATZIKIAN, Y. y BAMPASIS, E. Exploring the relationship of innovation intensity, knowledge production and productivity in greek SMEs before the eruption of debt crisis. *Journal of the Knowledge Economy*, 1, 1-25, 2015.
- HISLOP, D. *Knowledge Management in Organizations: A Critical Introduction*, UK: Oxford University Press, 2013.
- HODSON, R. *Workers' learnings and corporate economic structure*. New York, NY, US: Academic Press, 2014.
- HUANG, P. S. y SHIH, L. H. Effective environmental management through environmental knowledge management. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6(1): 35-50, 2009.
- JENNEX, M. E. Knowledge management. *Wiley Encyclopedia of Management*, 2005.
- JNEID, M. y TANNOUS, A. Strategic Management and Information Evaluation Challenges Facing Entrepreneurs of SMEs in ICT. Paper presented at the *6th European Conference on Information Management and Evaluation*, 2012.
- KALDI, A. et al. KMS adoption in organizations. Paper presented at the *Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2008. IEEE International Conference*, 2008.
- KAMEL, S. *E-Strategies for Technological Diffusion and Adoption: National ICT Approaches for Socioeconomic Development*. New York, NY, US: IGI Global, 2010.
- KANE, H. et al. Knowledge management methodologies. *The Electronic Journal of Knowledge Management*, 4(2): 141-152, 2006.
- KASCHIG, A. et al. Knowledge maturing activities and practices fostering organisational learning: Results of an empirical study. *Sustaining TEL: From Innovation to Learning and Practice*, 1: 151-166, 2010.
- KODAMA, M. *New Knowledge Creation Through ICT Dynamic Capability Creating Knowledge Communities Using Broadband*. Charlotte, NC, US: IAP, 2008.
- KRISTANDL, G. y BONTIS, N. Constructing a definition for intangibles using the resource based view of the firm. *Management decision*, 45(9): 1510-1524, 2007.
- LAI, M. C. et al. Designing a knowledge-based system for benchmarking: A DEA approach. *Knowledge-based systems*, 24(5): 662-671, 2011.
- LEE, C. L. et al. The impact of knowledge management enablers on non-financial performance in small and medium enterprises. *International Journal of Technology Management*, 43(1-3): 266-283, 2008.
- LEE, H. y CHOI, B. Knowledge management enablers, processes, and organizational performance: An integrative view and empirical examination. *Journal of Management Information Systems*, 20(1): 179-228, 2003.

- LIEBOWITZ, J. (Ed.). *Knowledge Management Handbook*. New York, NY, US: CRC Press, 1999.
- LÓPEZ NICOLÁS, C. y MEROÑO CERDÁN, Á. L. Strategic knowledge management, innovation and performance. *International Journal of Information Management*, 31(6): 502-509, 2011.
- LÓPEZ NICOLÁS, C. y SOTO ACOSTA, P. Analyzing ICT adoption and use effects on knowledge creation: An empirical investigation in SMEs. *International Journal of Information Management*, 30(6): 521-528, 2010.
- LUTCHEN, M. D. *Managing IT as a Business: A Survival Guide for CEOs*. New York, NY, US: John Wiley & Sons, 2011.
- MAHESH, K. y SURESH, J. K. What is the K in KM technology? *The Electronic Journal of Knowledge Management*, 2(2): 11-22, 2004.
- MAIER, R. *Knowledge Management Systems: Information and Communication Technologies for Knowledge Management*. Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- MAJORS, I. ICT and knowledge management models for promotion of SME's competitiveness. *The International Journal of Technology, Knowledge and Society*, 6(3): 173-184, 2010.
- MALEKIFAR, S. et al. Organizational culture, IT Competence, and supply chain agility in Small and Medium-Size Enterprises. *Global Business and Organizational Excellence*, 33(6): 69-75, 2014.
- MARTIN, L. M. y MATLAY, H. Innovative use of the Internet in established small firms: the impact of knowledge management and organisational learning in accessing new opportunities. *Qualitative Market Research: An International Journal*, 6(1): 18-26, 2003.
- MARTIN ROJAS, R. et al. Knowledge-based organization in tourism industry. *Engineering Economics*, 25(1): 82-93, 2014.
- MELLO, J. A. *Strategic management of human resources*. New York, NY, US: South-Western/Cengage Learning, 2011.
- MEROÑO, A. L. El correo electrónico en las Pymes para la comunicación y gestión del conocimiento. *Universia Business Review-Actualidad Económica*, 1: 71-79, 2005.
- METAXIOTIS, K. (Ed.). *Intelligent Information Systems and Knowledge Management for Energy: Applications for Decision Support, Usage, and Environmental Protection*. Hershey, PA, US: IGI Global (International Publisher of Progressive Academic Research), 2009.
- MOFFETT, S. y HINDS, A. Assessing the impact of KM on organisational practice: applying the MeCTIP model to UK organizations. *Electronic Journal of Knowledge Management*, 8(1): 103-117, 2010.
- MOHENO, G. A. y VALLÉS, R. S. Explorando el uso de las TI en la relación entre la innovación y los procesos de creación del conocimiento en las pequeñas y medianas empresas. Presentado en el XIII Congreso de Ingeniería de Organización, 2009.
- MOLLA, A. y LICKER, P. S. E-commerce adoption in developing countries: a model and instrument. *Information & Management*, 42(6): 877-899, 2005.
- NDUBISI, N. O. y NWANKWO, S. *Enterprise Development in SMEs and Entrepreneurial Firms: Dynamic Processes*. New York, NY, US: Business Science Reference, 2013.
- NEWELL, S. *Creating the healthy organization: Well-being, diversity and ethics at work*. London: Cengage Learning EMEA, 2002.
- NFUKA, E. N. y RUSU, L. The effect of critical success factors on IT governance performance. *Industrial Management & Data Systems*, 111(9): 1418-1448, 2011.
- NONAKA, I. *The Knowledge-Creating Company*. Harvard Business Review, 2007.
- NORTH, K. y KUMTA, G. *Knowledge Management: Value Creation Through Organizational Learning*. Switzerland: Springer International Publishing, 2014.
- NUMMELA, N. et al. Knowledge and experience in the internationalization of knowledge-intensive firms. *The Theory and Practice of Entrepreneurship: Frontiers in European Entrepreneurship Research*, 1: 101-110, 2010.
- NWACHUKWU, S. L. et al. Ethics and social responsibility in marketing: an examination of the ethical evaluation of advertising strategies. *Journal of Business Research*, 39(2): 107-118, 1997.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). *Education Today 2010: The OECD Perspective*. OECD Publishing, 2010.
- ORDÓÑEZ DE PABLOS, P. y EDVINSSON, L. (Eds.). *Intellectual capital in organizations: non-financial reports and accounts*. London, UK: Taylor y Francis, 2015.
- PALACIOS MARQUÉS, D. et al. New Information and Communication Technologies for Knowledge Management in Organizations: 5th Global Innovation and Knowledge Academy Conference, GIKA 2015, Valencia, Spain, July 14-16, 2015, Proceedings: Springer International Publishing, 2015.
- PATTANAYAK, B. *Human Resource Management*. New York, NY, US: PHI Learning, 2014.
- PÉREZ LÓPEZ, S. y ALEGRE, J. Information technology competency, knowledge processes and firm performance. *Industrial Management & Data Systems*, 112(4): 644-662, 2012.
- PIGET, P. y KOSSAÏ, M. The relationship between information and communication technology use and firm performance in developing countries: a case study of electrical and electronic goods manufacturing SMEs in Tunisia. *African Development Review*, 25(3): 330-343, 2013.
- PRIEGER, J. E. y HEIL, D. The microeconomic impacts of e-business on the economy. In *School of Public Policy Working Papers*. Paper 11. Pepperdine University, 2009.
- RANGAN, S. y ADNER, R. Profitable Growth in Internet-Related Business: Strategy Tales and Truths. *Working Papers-INSEAD R & D.*, 2001.

- RAO, M. (Ed.). *Knowledge management tools and techniques. Practitioners and Experts Evaluate KM Solutions*. London: Routledge, 2012.
 - REBIC, M. y SARENAC, N. Technological progress as a generator of economic growth and development. *Journal of Economic and Social Studies*, 4(2): 73-99, 2014.
 - ROJAS MESA, Y. De la gestión de información a la gestión del conocimiento. *Acimed*, 14(1): 10-20, 2006.
 - ROWE, W. B. *Principles of Modern Grinding Technology*. London: Elsevier Science, 2013.
 - SPAGNOL FEDOCE, R. et al. Knowledge management as a competitive advantage to the brazilian MVAS ecosystem. *Journal of Technology Management & Innovation*, 10(2): 1-8, 2015.
 - STIRBU, O. A. et al. Theoretical approach regarding the competitiveness of SMEs. *International Journal of Advanced Research*, 3(6): 1057-1063, 2015.
 - SUNG, S. Y. y CHOI, J. N. Effects of team knowledge management on the creativity and financial performance of organizational teams. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 118(1): 4-13, 2012.
 - SWAN, J. et al. Knowledge management and innovation: networks and networking. *Journal of Knowledge Management*, 3(4): 262-275, 1999.
 - TARÍ GUILLÓ, J. J. y GARCÍA FERNÁNDEZ, M. ¿Puede la gestión del conocimiento influir en los resultados empresariales? *Cuadernos de Gestión*, 13(1): 151-176, 2011.
 - TIWANA, A. *The Knowledge Management Toolkit: Orchestrating IT, Strategy, and Knowledge Platforms*. India: Pearson Education India, 2002.
 - TORRENT SELLENS, J. y FICAPAL CUSÍ, P. TIC, co-innovación y productividad empresarial: evidencia empírica para Cataluña y comparación internacional de resultados. *Revista de Economía Mundial*, 1(26): 203-233, 2010.
 - TORRES CORONAS, T. *Social E-Enterprise: Value Creation through ICT*. New York, NY, US: IGI Global, 2012.
 - TSENG, S. The effects of information technology on knowledge management systems. *Expert Systems with Applications*, 35(1-2): 150-160, 2008.
 - TSUI, E. et al. Knowledge-based extraction of intellectual capital-related information from unstructured data. *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 41(4): 1315-1325, 2014.
 - TUNC BOZBURA, F. Knowledge management practices in Turkish SMEs. *Journal of Enterprise, Information Management*, 20(2): 209-221, 2007.
 - TUNC BOZBURA, F. et al. Prioritization of human capital measurement indicators using fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 32(4): 1100-1112, 2007.
 - UCBASARAN, D. et al. Opportunity identification and pursuit: does an entrepreneur's human capital matter? *Small Business Economics*, 30(2): 153-173, 2008.
 - VAN DER WEIDE, T. P. A Digital (R) evolution to the Information Age. *Globalization, Technology Diffusion and Gender Disparity*, 1, 1-14, 2012.
 - VANGREMBERGEN, W. et al. Structures, processes and relational mechanisms for IT governance: theories and practices. 1. In W. VANGREMBERGEN (Ed.), *Strategies for information technology governance* (pp. 1-36). IGI Global, 2004.
 - VOGELSANG, M. *Digitalization in Open Economies: Theory and Policy Implications*. New York, NY, US: Physica-Verlag, 2010.
 - WANG, Z. y WANG, N. Knowledge sharing, innovation and firm performance. *Expert Systems with Applications*, 39(10): 8899-8908, 2012.
 - WESSELS, B. *Exploring Social Change: Process and Context*. New York, NY, US: Palgrave Macmillan, 2014.
 - WOLFF, J. A. y PETT, T. L. Small-firm performance: modeling the role of product and process improvements*. *Journal of Small Business Management*, 44(2): 268-284, 2006.
 - YEW WONG, K. y ASPINWALL, E. An empirical study of the important factors for knowledge-management adoption in the SME sector. *Journal of Knowledge Management*, 9(3): 64-82, 2005.
 - YOUNG, T. y MILTON, N. *Knowledge management for sales and marketing: a practitioner's guide*. Chandos Publishing, 2011.
 - ZALESNA, A. An induction process for new employees and intellectual capital in SMEs: a proposed theoretical link. *Proceedings of the 6th European Conference on Intellectual Capital*, ECIC, 2014.
 - ZAWAWI, A. A. et al. The study of barrier factors in knowledge sharing: a case study in public university. *Management Science and Engineering*, 5(1): 59-70, 2011.
 - ZERWAS, D. *Organizational culture and absorptive capacity: the meaning for SMEs*. London: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
 - ZHANG, P. et al. Two types of attitudes in ICT acceptance and use. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(7): 628-648, 2008.
- De páginas electrónicas**
- BECHHOFFER, S. et al. Research objects: Towards exchange and reuse of digital knowledge. In Nature Precedings, *The Future of the Web for Collaborative Science* (FWCS 2010), Raleigh, NC, US, 26 April, 2010. doi: 10.1038/npre.2010.4626.1
 - SERVICIO DE ATENCIÓN AL CLIENTE.COM [Imagen]. Recuperado de <http://serviciodeatencionalcliente.com/nuevos-enfoques-empresas-tic/>

Efecto de los factores de innovación en el desempeño económico de los talleres artesanales de la zona metropolitana de Zacatecas

The effect of the factors of innovation in the economic performance of the craft workshops of the metropolitan area of Zacatecas

Luis Ángel Correa García¹, Roberto González Acolt^{1*}

Correa García, L. A., González Acolt, R. Efecto de los factores de innovación en el desempeño económico de los talleres artesanales de la zona metropolitana de Zacatecas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 63-68, enero-abril 2017.

RESUMEN

El propósito de este trabajo fue analizar el efecto de los factores de innovación sobre el desempeño económico de los talleres artesanales de la zona metropolitana de Zacatecas, para ello se aplicó un cuestionario a 124 artesanos, posteriormente se realizó un análisis de regresión múltiple y se emplearon pruebas de restricciones de exclusión para examinar si un grupo de variables —ligadas a diferentes tipos de innovación— influyeron en los ingresos que perciben los trabajadores de esta zona. Los resultados mostraron que la variable innovación manifiesta efecto en el producto, la organización y mercadotecnia con los ingresos mensuales de estos operarios.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to analyze the effect of the factors of innovation on the economic performance, the craft workshops of the metropolitan area of Zacatecas, for this a questionnaire was administered to 124 artisans, a multiple regression analysis was subsequently performed. A restriction of exclusion tests was used to examine a group of variables —linked to different types of innovation— influencing

Palabras clave: innovación, desempeño económico, taller artesanal, zona metropolitana de Zacatecas.

Keywords: innovation, economic performance, craft workshop, handcrafts, metropolitan area of Zacatecas.

Recibido: 28 de enero de 2016, aceptado: 16 de diciembre de 2016

¹ Departamento de Economía, Centro de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.

* Autor para correspondencia: rgonza@correo.uaa.mx

revenues that the artisans in this area perceived. The results showed that variable innovation states effect on the product, organization and marketing with monthly incomes of these artisans.

INTRODUCCIÓN

El estudio en los talleres artesanales constituye un importante desafío, debido a que en la literatura son considerados empresas de subsistencia (Toledo López et al., 2012). En la zona metropolitana de Zacatecas las microempresas artesanales son una de las mayores riquezas de la entidad, a pesar de que su continuidad está en peligro de desaparecer, ya que las nuevas generaciones no se interesan en continuar con la tradición artesanal (Burciaga, 2010). A través de los años, el trabajo de los artesanos se ha desarrollado en medio de bastantes dificultades que frenan su competitividad, debido a que disponen de menos recursos materiales, lo que provoca que estos negocios tengan que realizar innovaciones en sus prácticas productivas.

Medir el desempeño económico en los negocios de subsistencia es complicado, dado que rara vez tienen registros contables (Yescas, 2008), no tienen un control sobre sus ventas (Hernández Girón et al., 2007c), y operan con deficiencias en el proceso administrativo (Jaspe, 2009), lo que dificulta precisar la productividad del sector artesanal.

La innovación tiene un papel importante en el desempeño de los talleres artesanales, Hernández Girón et al. (2007b) analizan los factores internos y externos de la innovación empleados por los artesanos en ocho entidades de México. Los autores encontraron que el conocimiento

en el manejo del taller es más relevante que el conocimiento administrativo como factor explicativo de la innovación en este tipo de negocios. Además, agregan que con la finalidad de ser competitivos y de satisfacer los variados gustos de los consumidores, los artesanos establecen mecanismos para diferenciar su producto.

Domínguez Hernández et al. (2004), en un estudio realizado a 176 artesanos de Oaxaca, Jalisco y Guanajuato, muestran que la competitividad en este tipo de talleres —participación en el mercado, satisfacción con el negocio, índice de exportaciones, lealtad de los clientes y prestigio de la empresa— aumenta con la innovación —mejoras y modificaciones a los productos, procesos, procedimientos y a las formas de comercialización—.

En el mismo sentido que los trabajos anteriores, Hernández Girón et al. (2007a) encontraron que la innovación administrativa —cambios, por ejemplo, a formas de organización, de distribución del trabajo y de productos— es uno de los factores que contribuyó al éxito —comparación del ingreso por ventas del año anterior y del actual— de 337 negocios artesanales en ocho estados de la República Mexicana.

Estudios específicos sobre este sector también demuestran que la innovación tiene un rol determinante en el desarrollo de estos negocios, por ejemplo: Lugo Morin et al. (2008) analizan la artesanía textil en el municipio de San Pablo Villa de Mitla, Oaxaca y encuentran que la demanda de mercado de los productos textiles de esta zona ha conllevado entre otros factores a la incorporación de innovaciones en los talleres artesanales tales como la integración de fibras sintéticas, diversificación, mejoras notables y mayor calidad en los productos artesanales, inclusión de instrumentos de trabajo modernos que incrementan la producción.

Ahora, ¿qué se debe entender por innovación? Para Alfred Marshall la innovación es una continua adaptación estructural a los cambios observados en el mercado de los factores de producción y de los productos elaborados, considera a la innovación como un criterio de la función empresarial. Otra perspectiva es la de Joseph Schumpeter (1935), quien hace énfasis en las nuevas empresas, los procesos tecnológicos y el incremento del liderazgo en los empresarios, define a la innovación como el establecimiento de una nueva función de producción.

Para la OECD (2006: 56) este término implica “la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores”. La misma OECD (2006) clasifica la innovación en cuatro formas:

1. De producto, cambios en las características de los bienes enteramente nuevos y mejoras significativas de los productos ya existentes.
2. De procesos, cambios en los métodos de manufactura, se caracteriza por modificaciones en las técnicas, materiales y/o sistemas informáticos.
3. De organización, implica la puesta en marcha de nuevos métodos o prácticas de organización.
4. De mercadotecnia, consiste en la adopción de nuevos métodos de comercialización.

Identificar la influencia de los factores de innovación en el desempeño económico de los talleres artesanales, representa soluciones nuevas que mejoren la efectividad, la eficacia y rentabilidad, lo que permite hacer frente a la incertidumbre económica y a la competencia en los mercados locales. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue analizar la influencia de algunas variables de innovación sobre los ingresos por ventas en los talleres artesanales en la zona metropolitana de Zacatecas.

La hipótesis propuesta en el trabajo fue que cada una de las innovaciones de producto, proceso, organización y mercadotecnia influyen en el desenvolvimiento económico de talleres artesanales de la zona metropolitana de Zacatecas.



Figura 1. Artesano de la rama textil del municipio de Guadalupe trabajando en su telar de pedal. Fotografía tomada de la Subsecretaría de Desarrollo Artesanal.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se centró en los talleres artesanales de Zacatecas y su zona metropolitana, compuesta por los municipios de Guadalupe y Zacatecas, que se localizan en el centro del estado, en la demarcación señalada la principal fuente de ingresos son los servicios y el comercio. Aunque no existen estadísticas que reflejen la magnitud del sector artesanal, los negocios que se dedican a la producción de artesanías son importantes en la actividad económica de la región, ya que contribuyen con empleos para cientos de familias (Correa García y González Acolt, 2016).

La selección de la muestra se realizó con base en el padrón de artesanos del Instituto de Desarrollo Artesanal (IDEAZ; 2012), con un tamaño original de 167 talleres, los cuales se seleccionaron de acuerdo con la fórmula de determinación de la muestra con un nivel de confiabilidad de 95%. El siguiente paso consistió en recolectar los datos, mediante un cuestionario aplicado por medio de entrevistas personales a los propietarios de cada negocio artesanal. La visita se realizó en el periodo comprendido desde el 1 hasta el 31 de octubre de 2014. El total de visitas fue de 167 negocios; sin embargo, no fue posible localizar a algunos artesanos debido a que fallecieron, diversos talleres cerraron, hubo errores en la base de datos; por tanto, el total de encuestas levantadas fue de 124.

Basados en los estudios de Salom Carrasco (2003); Hernández Girón et al. (2007a); Domínguez Hernández y Hernández Girón (2007); Hernández Girón et al. (2007b); Sánchez et al. (2010) y Correa (2014); se clasificó cada uno de los cuatro factores de la innovación —bajo el criterio de la OECD— que afectan el desempeño económico de los talleres artesanales de la zona metropolitana de Zacatecas (Tabla 1). La variable dependiente —desempeño económico— fue catalogada como los ingresos por venta en pesos que percibe el taller artesanal en un mes (INEGI, 2014).

Basados en la descripción de las variables de la Tabla 1, el modelo de regresión múltiple propuesto fue el siguiente:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 + \beta_{10} X_{10} + \beta_{11} X_{11} + \beta_{12} X_{12} + \beta_{13} X_{13} + \mu \quad (1)$$

Donde la variable y mide el ingreso en pesos que percibe el taller artesanal en un mes; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{13}$ son los parámetros a estimar, X_1, X_2, \dots, X_{13} variables independientes que están definidas en la tabla, μ : es un término de error aleatorio. Las cuatro hipótesis propuestas a probar son las siguientes:

1) Para probar la hipótesis nula de que una vez controlada $X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}$ Y X_{13} , los factores de innovación de producto no tienen efecto sobre el desempeño económico de los talleres artesanales

Tabla 1. Operacionalización de variables

Tipo de innovación	Preguntas	Escala
De producto	En el último año: X_1 ¿Ha hecho cambios en colores? X_2 ¿Ha hecho cambios en tamaños de artículos? X_3 ¿Ha hecho cambios en formas? X_4 ¿Ha hecho cambios en la calidad del producto?	Variable dicotómica 1= Sí, 0= No
De procesos	X_5 ¿Ha utilizado materiales mejorados? X_6 ¿Ha cambiado la forma de producir sus artículos?	Variable dicotómica 1= Sí, 0= No
De organización	X_7 ¿Ha realizado cambios a la organización del trabajo? X_8 ¿Ha buscado una mejor relación con sus clientes? X_9 ¿Ha buscado una mayor relación con sus proveedores? X_{10} ¿Ha buscado una mayor relación con sus compañeros del taller?	Variable dicotómica 1= Sí, 0= No
De mercadotecnia	X_{11} ¿Ha buscado la colocación de productos en otro mercado diferente? X_{12} ¿Ha tratado de satisfacer mejor las necesidades de los consumidores? X_{13} ¿Su taller artesanal tiene algún distintivo?	Variable dicotómica 1= Sí, 0= No

La Tabla 1 describe los cuatro tipos de innovación (producto, proceso, organización y mercadotecnia), así como las preguntas realizadas, medidas en escala dicotómica. Elaboración propia.

de la zona metropolitana de Zacatecas, se propone lo siguiente: $H_0: \beta_1 = 0, \beta_2 = 0, \beta_3 = 0, \beta_4 = 0$; por tanto, la hipótesis alterna $H_1: H_0$ no es verdadera.

2) Por otra parte, la hipótesis nula de que la innovación en proceso no influye en el ingreso que perciben los artesanos de Zacatecas se plantea como $H_0: \beta_5 = 0, \beta_6 = 0$, versus la hipótesis alterna $H_1: H_0$ no es verdadera.

3 y 4) Similarmente, la hipótesis nula de que la innovación en organización y mercadotecnia, respectivamente, no ejercen influencia sobre el desenvolvimiento económico de los talleres artesanales de la zona metropolitana de Zacatecas se plantea para el caso de organización como $H_0: \beta_7 = 0, \beta_8 = 0, \beta_9 = 0, \beta_{10} = 0$; y para el caso de mercadotecnia como $H_0: \beta_{11} = 0, \beta_{12} = 0, \beta_{13} = 0$, mientras que para ambos casos la hipótesis alterna implica que $H_1: H_0$ no es verdadera.

RESULTADOS

Los estadísticos F y chi-cuadrada se muestran en la Tabla 2, la primera distribución estima la relación de las varianzas de dos muestras tomadas independientemente de la misma población normalmente distribuida. La prueba chi-cuadrada compara la distribución observada de los datos con una distribución esperada de los mismos. Los grados de libertad son el número de valores que pueden ser asignados de forma arbitraria, antes de que el resto de las variables tomen un valor automáticamente. El valor de p representa la probabilidad de aceptar la hipótesis de investigación.

Las distribuciones anteriores se emplean para probar la hipótesis 1, si consideramos el valor- p del estadístico F existe cierta evidencia contra la hipótesis nula, específicamente, la H_0 se rechaza a 10% pero no a 5%.

Tabla 2. Resultado de la hipótesis innovación en producto

Prueba estadística	Valor	Grados de libertad	Probabilidad
F estadística	3.70	(4, 104)	0.0074
Chi-cuadrada	14.80	4	0.0051

La Tabla 2 presenta los estadísticos F y chi-cuadrada, los cuales se emplearon para probar la hipótesis 1. Muestra los valores para cada prueba estadística, y el valor p , que es inferior al nivel crítico 0.05. Elaboración propia.

La Tabla 3 ofrece el listado de la prueba estadística F y chi-cuadrada, ambos se emplean para probar la hipótesis 2, el valor p para ambos estadísticos es grande, por lo cual es muy débil la evidencia contra la hipótesis nula; este resultado sugiere que la innovación en proceso, contrario a lo que se esperaba, no ejerce influencia significativa en el desempeño económico de los negocios artesanales.

Tabla 3. Resultado hipótesis innovación en proceso

Prueba estadística	Valor	Grados de libertad	Probabilidad
F estadística	0.89	(2, 104)	0.4106
Chi-cuadrada	1.80	2	0.4074

La Tabla 3 presenta el resultado de la regresión múltiple, aquí podemos apreciar las pruebas estadísticas F y chi-cuadrada, donde se contrasta la hipótesis nula, $p > 0.05$; por tanto, se acepta la hipótesis nula. Elaboración propia.

Para probar la hipótesis 3, se obtuvieron los estadísticos de la variable innovación de organización que aparecen en la Tabla 4, se puede apreciar que los valores p de los dos estadísticos son inferiores al nivel de 10%, lo cual muestra evidencia fuerte contra la H_0 .

Tabla 4. Resultado de la hipótesis innovación en la organización

Prueba estadística	Valor	Grados de libertad	Probabilidad
F estadística	2.32	(4, 104)	0.0613
Chi-cuadrada	9.30	4	0.0540

La Tabla 4 presenta los estadísticos F y chi-cuadrada, los cuales se emplearon para probar la hipótesis 3, muestra los valores para cada prueba estadística, y la probabilidad que es inferior al nivel 0.10. Elaboración propia.

Los estadísticos relacionados con la innovación en mercadotecnia aparecen en la Tabla 5 y se emplearon para probar la hipótesis 4; los valores p para los dos estadísticos son inferiores al nivel crítico de 1%, este resultado permite rechazar la hipótesis nula, por lo que la innovación de mercadotecnia sí tiene influencia en los ingresos de los artesanos de la zona metropolitana de Zacatecas.

DISCUSIÓN

La innovación en producto ejerce influencia significativa en los ingresos de los artesanos del área metropolitana de Zacatecas, este hallazgo es congruente con los de Domínguez et al. (2004),

Tabla 5. Resultado hipótesis innovación en mercadotecnia

Prueba estadística	Valor	Grados de libertad	Probabilidad
F estadística	4.13	(3, 104)	0.0082
Chi-cuadrada	12.39	3	0.0061

En la Tabla 5 se pueden apreciar las pruebas estadísticas F y chi-cuadrada, donde se contrasta la hipótesis nula, con un valor $p < 0.01$; por tanto, no se rechaza la hipótesis nula. Elaboración propia.

quienes sostienen que la innovación es una variable relevante para que el artesano se dedique a elaborar productos novedosos, diferentes y atractivos que le generarán un mayor volumen de ventas y, por lo mismo, un incremento en sus utilidades.

Referente a la innovación en proceso, esta variable no ejerce influencia significativa en el desempeño económico de los negocios artesanales. Esto puede ser explicado debido a que las piezas de artesanía son producidas con apego a procesos tradicionales heredados por generaciones; por tanto, resulta difícil cambiar la forma de producir sus artículos y rara vez utilizan materiales mejorados.

La innovación de organización sí ejerce influencia en los ingresos de los artesanos, este hallazgo es similar al de Hernández Girón et al. (2007b), quienes en un primer momento del análisis —en la etapa de definición de la estructura conceptual de las diferentes innovaciones—, encuentran que elementos como la mayor relación con los clientes y con proveedores tienen una carga factorial significativa en la innovación organizacional de los talleres artesanales.

La variable de innovación en mercadotecnia, al igual que la anterior, sí ejerce influencia sobre el desempeño económico de los talleres artesanales. Ello concuerda con lo encontrado en el estudio de Jiménez Castañeda et al. (2009), quienes hallaron correlaciones significativas entre las estrategias de mercadotecnia y competitividad de 337 talleres

artesanales ubicados en Michoacán, Estado de México, Guanajuato, Puebla, Jalisco, Guerrero, Oaxaca y Veracruz.

CONCLUSIONES

La innovación es crucial en el desempeño de los talleres artesanales, la capacidad de adaptación al entorno y la resolución de problemas. Al realizar innovación en producto los artesanos ofrecen artesanías diferentes, mayor facilidad de venta, mejor manejo de precios, lo que repercute en mayores utilidades.

La innovación en proceso es la menos utilizada, porque trabajan con procesos artesanales ancestrales, transmitidos de generación en generación. Los talleres artesanales están compuestos en su mayoría por miembros de la misma familia, razón por la cual realizan innovación en la organización, esto debido a que el artesano rara vez puede producir y vender a la vez, y tiene que dividir las actividades de producción o de comercialización con sus hijos. La adopción de nuevos métodos de comercialización en el taller artesanal a través de la innovación de mercadotecnia permite al negocio incrementar su presencia en el mercado, atraer mayor número de clientes, ello representa un incremento en ventas; por tanto, generan una mejora en el desempeño económico, pues los artesanos prefieren innovaciones que exijan pocos recursos financieros.

La identificación de la influencia de los factores de innovación en el desempeño económico de las empresas familiares artesanales representa alternativas que les permiten ser más competitivos y rentables, abandonar el nivel de subsistencia y hacer frente a la incertidumbre económica y la competencia en los mercados locales. La limitación primordial es el tamaño de la muestra, ya que es recomendable realizar estudios con mayor número de artesanos y, de preferencia, de otras ramas.

LITERATURA CITADA

- BURCIAGA, J. *Zacatecas, memoria sobre el arte popular*. México: CONACULTA, 2010.
- CORREA, L. La innovación en producto en los talleres artesanales de Zacatecas y de la República Mexicana. *Congreso Internacional de Investigación e Innovación 2014*. Cortázar, Guanajuato, mayo 2014.
- CORREA GARCÍA, L. A. y GONZÁLEZ ACOLT, R. El sector artesanal en México y el combate contra la pobreza. *Transitare Revista de Turismo, Economía y Negocios*, 2(2): 233-250, 2016.
- DOMÍNGUEZ HERNÁNDEZ, M. L. y HERNÁNDEZ GIRÓN, J. P. *Impacto, a dos años, de los programas del FONART en los indicadores de pobreza, producción y comercialización artesanal*. Informe Técnico Final. Tomo 1. México: Instituto Politécnico Nacional, 2007.
- DOMÍNGUEZ HERNÁNDEZ, M. L. et al. Competitividad y ambiente en sectores fragmentados. El caso de la artesanía en México. *Cuadernos de administración*, 17(27): 127-158, 2004.
- HERNÁNDEZ GIRÓN, J. et al. Factores de éxito en los negocios de artesanía en México. *Estudios gerenciales*, 23(104): 77-99, 2007a.
- HERNÁNDEZ GIRÓN, J. P. et al. Factores de innovación en negocios de artesanía de México. *Gestión y Política Pública*, 16(2): 353-379, 2007b.
- HERNÁNDEZ GIRÓN, J. P. et al. Orientación al mercado y desempeño en artesanías. *Naturaleza y Desarrollo*, 5(1): 27-40, 2007c.
- IDEAZ (INSTITUTO DE DESARROLLO ARTESANAL DE ZACATECAS). *Padrón de artesanos*. Gobierno del Estado de Zacatecas, septiembre 2012.
- JASPE, C. *Diagnóstico regional de artesanías*. Zacatecas: Instituto de Desarrollo Artesanal del Estado de Zacatecas, octubre 2009.
- JIMÉNEZ CASTAÑEDA, J. C. et al. Estrategias y competitividad de los negocios de artesanía en México. *Pensamiento y Gestión*, 26, 165-190, 2009.
- LUGO MORIN, D. R. et al. Etnocompetitividad del sistema artesanal textil Mitla, el papel del territorio y la innovación. *Economía, Sociedad y Territorio*, 8(28): 981-1006, 2008.
- OCDE (ORGANIZACIÓN DE COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICOS)-EUROSTAT (OFICINA DE ESTADÍSTICAS DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS). *Manual de Oslo. Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*. 3 ed. OCDE-EUROSTAT, 2006.
- SALOM CARRASCO, J. Innovación y actores locales en los nuevos espacios económicos: Un estado de la cuestión. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 36, 7-30, 2003.
- SÁNCHEZ, P. S. et al. Género y comportamiento ambiental de los negocios de artesanías de barro. *Gestión y Política Pública*, XIX(1): 79-110, 2010.
- SCHUMPETER, A. Análisis del cambio económico. *The Review of Economics Statics*, XVII(4): 2-10, 1935.
- TOLEDO LÓPEZ, A. et al. Defining success in subsistence businesses. *Journal of Business Research*, 65(12): 1658-1664, 2012.
- YESCAS, M. *La cultura organizacional y el desempeño de los negocios de artesanía*. México: Instituto Politécnico Nacional, 2008.

De páginas electrónicas

- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). *Encuesta en hogares/micronegocios 2012*. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/modulos/enamin/2012/>

Origen y evolución de las actividades y disciplinas deportivas en Aguascalientes en el siglo XX

The origin and evolution of activities and sports disciplines that were practiced in the twentieth century in Aguascalientes

Víctor Moreno Ramos^{1*}, Gabriela Hernández Zapata¹, Sara Elizabeth Flores Fernández¹

Moreno Ramos, V., Hernández Zapata, G., Flores Fernández, S. E. Origen y evolución de las actividades y disciplinas deportivas en Aguascalientes en el siglo XX. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 69-76, enero-abril 2017.

RESUMEN

El presente artículo describe el origen y evolución de las actividades y disciplinas deportivas que se practicaron durante el siglo XX en Aguascalientes, y pretende determinar los principales promotores, atletas, el marco jurídico, las instituciones, instalaciones, los clubes deportivos, tanto privados como públicos que se fundaron; así como las acciones y resultados de la política deportiva de tipo público que implementaron las autoridades del estado para el fomento y promoción de las prácticas y disciplinas deportivas. Al respecto, el detonante del inicio de la práctica formal de diversas disciplinas deportivas, de clubes y ligas de béisbol, fútbol, básquetbol, tenis, voleibol, box, atletismo, polo, natación, charrería, lo constituyeron la instalación de los Talleres Generales de Construcción y Reparación de Máquinas y Material Rodante (1897), la American Smelting, La Perla, Jabonera del Centro, en la ciudad de Aguascalientes.

ABSTRACT

This article describes the origin and evolution of activities and sports that were practiced during

Palabras clave: génesis y evolución, actividades, disciplinas, deporte, Aguascalientes siglo XX.

Keywords: genesis and evolution, activities, disciplines, sport, Aguascalientes twentieth century.

Recibido: 23 de septiembre de 2015, aceptado: 14 de septiembre 2016

¹ Departamento de Educación, Centro de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.

* Autor para correspondencia: vmorenor@correo.uaa.mx

the twentieth century in Aguascalientes, and aims to identify the main promoters, athletes, the legal framework, institutions, facilities, both private sports clubs and public that were founded, as well as the actions and results of sports policy of public type that implemented the state authorities for the development and promotion of practices and sports. In this regard, the trigger for the start of the formal practice of various sporting disciplines, clubs and leagues of baseball, football, basketball, tennis, volleyball, boxing, athletics, polo, swimming and horsemanship, what were the Installations of the General Workshops Construction and Repair Machines and Rolling Stock (1897), the American Smelting, The Pearl, the Jabonera Center, in the city of Aguascalientes.

INTRODUCCIÓN

La llegada de la primera locomotora de vapor del Ferrocarril Central Mexicano en 1884, dadas las características geográficas que tiene Aguascalientes como fueron la abundancia de agua, un clima templado y, sobre todo, nobleza y laboriosidad de su gente, propiciaron que durante el porfiriato se decidiera establecer en Aguascalientes los talleres del ferrocarril; los cuales fueron apoyados de manera decidida por el entonces gobernador del estado, Rafael Arellano Ruiz Esparza, quien donó más de 84 ha ubicadas al oriente de la ciudad, que pertenecían a la Hacienda de Ojocaliente. Los terrenos los recibió el Sr. Pablo Martínez del Río el 14 de diciembre de 1897 y para el 8 de septiembre se concesionó a la Compañía del Ferrocarril Central Mexicano para que se construyeran las líneas de vías de México hasta el Paso del Norte. Cabe señalar que el inicio de los trabajos de la construcción de

los Talleres Generales de Construcción y Reparación de Máquinas y Material Rodante fue en 1897 y los mismos concluyeron en 1903 (Moreno Ramos y Medrano de Luna, 2004).

La instalación de tal industria ferrocarrilera en la ciudad de Aguascalientes trajo como consecuencia una serie de cambios no sólo en la geografía de la ciudad capital, sino que transformó el estilo de vida de sus habitantes, la vida urbana, la ecología, la educación, la cultura y en particular la práctica de las actividades deportivas. Además, el impacto social y económico favoreció el crecimiento de las diversas actividades de vida humana de la entidad. Prueba destacada de ello es la influencia deportiva de las empresas como la Gran Fundición (American Smelting, ASARCO), quien construyó su propio hipódromo (1909), La Perla, la Jabonera del Centro, así como diversas compañías harineras que se establecieron muy cerca de los talleres del ferrocarril; quienes trajeron entre sus inquietudes la práctica del deporte europeo y norteamericano, así como la organización de clubes con personal extranjero, como béisbol, fútbol, polo, golf, tenis, boxeo, natación, equitación, básquetbol, voleibol, pesca, ciclismo, cacería, automovilismo, carreras de caballos y charrería, entre otros. En ese sentido, tanto la llegada del tren de vapor como la instalación de los talleres del ferrocarril representaron el nacimiento de las actividades y prácticas deportivas modernas, lo que propició la construcción de los primeros espacios deportivos y recreativos de nuestra entidad en el primer tercio del siglo XX (Vargas Gómez, 1989; AGMA: Expediente 353.65 Fs. 19, 1909; AGMA: Expediente 665/62, 1929; AGMA: Expediente, 753.30. Fs. 12, 1931; AGMA: Expediente 753/30, 1931; AATV: Semanario Deportivo, 1932, p. 17).

De manera paralela a la práctica y actividades de las diversas disciplinas deportivas, esto se consolidó gracias a la institucionalización del deporte en México con la fundación de la Confederación Deportiva Mexicana (1933) y el Comité Deportivo del Estado de Aguascalientes (1933), así como la Dirección de Educación Física (1936) de la entidad, los cuales determinaron las políticas a seguir en esta materia a través de financiamiento, construcción de estadio, programas y actividades, todo ello bajo la tutela del Estado mexicano y la influencia de los medios de comunicación a través de la prensa y revistas (AHEA, Expediente 4, 1936; Labor Libertaria 1933; El Universal, 1933).

Desde el siglo XIX la natación había cobrado auge en las albercas de los Antiguos Baños del Ojocaliente (1807) y la Puga en los Baños de Los Arquitos (1888-1896). A principios de siglo XX se acondicionó un velódromo para la práctica del ciclismo (1905) ubicado en los llanos de la Colonia del Carmen, así como la construcción del Hipódromo de la Fundición (1909). Avanzada la centuria del XX, sobresalió la construcción del Parque Stand Obrero (1923) y una década después el Club Deportivo de los Ferrocarriles Nacionales de México en 1932.

En los llanos del oriente de la ciudad y cercano a la estación y talleres del ferrocarril se construyeron el estadio municipal (1937-1938) por el Gral. Juan B. Izaguirre, Jefe de la 14ª Zona Militar y el Gral. Manuel Madrigal Guzmán, Comandante del 45º Batallón de Infantería, el parque de béisbol Alberto Romo Chávez (1946), el Rancho del Charro (1946) y el Centro Deportivo Ferrocarrilero de 1959 (Rodríguez Reza y González López, 2008).

Otro importante detonante deportivo lo constituyó el nacimiento de la Casa de la Juventud y su correspondiente delegación federal a través del Instituto Mexicano de la Juventud (1961), la Zona Deportivo Militar del 10º Regimiento de Caballería (1935) y el Club Campestre (1963). A esto se añaden las instalaciones deportivas como son el frontón del Molino San Marcos (1942), el Parque IV Centenario (1975) y el Centro Deportivo Ojocaliente (1976). Para fines del siglo XX se construyeron la actual Ciudad Deportiva con su alberca, gimnasio y estadio olímpico (1998). Entrado el siglo XXI se erigieron dos velódromos (2002 y 2010) y el antiguo Estadio Municipal fue demolido y en él se edificó el Estadio Victoria (2003), y la Línea Verde al oriente de la ciudad (Granados Roldán, 1998; González González, 2004, Moreno Ramos, 2004, Ovalle Morquecho, 2007 a y b; Carreón Espinoza, 2008; Reynoso Femat, 2010).

La presente investigación describe los aspectos más relevantes de la génesis y evolución de las principales actividades y disciplinas deportivas que se desarrollaron en Aguascalientes en el siglo XX; todo ello a través de sus procesos histórico-sociales, jurídicos, promotores, instalaciones, deportistas destacados y las políticas deportivas implementadas para su desarrollo e impacto en la sociedad de nuestra entidad.



Figura 1. Foto oficial novena de béisbol Águila, 1930. Fotografía tomada de la revista *Ferronales*. Archivo del Museo Nacional de los Ferrocarriles en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo general del presente estudio fue realizar una investigación descriptiva sobre la gestión que facilitó el origen y evolución de las actividades y disciplinas deportivas en Aguascalientes en el siglo XX, todo ello para determinar su relevancia social, recreativa, educativa y deportiva en la sociedad agascalentense del siglo XX.

La tarea esencial fue identificar los procesos jurídicos, administrativos, las principales instituciones y atletas más destacados, las asociaciones y clubes deportivos, sus promotores e impulsores, las instalaciones e infraestructura construida a través de toda la centuria pasada; así como las políticas gubernamentales implementadas a la promoción del deporte en la entidad, lo que permitió contar con una comprensión más clara, amplia y objetiva sobre cómo surgieron y se desarrollaron a lo largo del tiempo y, en su caso, por qué desaparecieron algunas instituciones deportivas y surgieron otras disciplinas atléticas en el siglo XX.

Dado que no existe a nivel regional y local una investigación que documente amplia y profundamente el tema de estudio en cuestión, ni información teórica y bibliográfica que sustente de manera sólida y consistente nuestro trabajo, el producto de esta investigación se justifica y está apoyado principalmente en documentos localizados en archivos históricos del ámbito nacional, local y municipal.

La metodología se desarrolló en dos ámbitos: a) información de fuentes propiamente bibliográficas y hemerográficas como libros, revistas, periódicos, manuales y crónicas históricas; b) en fuentes documentales como búsqueda de información de documentos escritos y fotográficos, sobre todo identificados y localizados en los principales archivos históricos especializados a nivel nacional, regional y estatal.

Para la obtención de información bibliohemerográfica relevante de las prácticas y disciplinas deportivas en Aguascalientes en el siglo XX, sobresalen como principales fuentes de información las siguientes: Archivo General de la Nación, Archivo Nacional de los Ferrocarriles en Puebla, Archivo Histórico del Estado de Aguascalientes, Archivo General del Municipio de Aguascalientes, la Biblioteca de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, la Biblioteca Bicentenario en el Fondo Histórico de don Alejandro Topete del Valle, el Museo de Sitio y el Museo de los Ferrocarriles en el Complejo Ferrocarrilero Tres Centurias de la ciudad de Aguascalientes.

El tipo de análisis fue de carácter interpretativo y reflexivo, el cual estuvo orientado a la identificación y cotejo de los procesos histórico-sociales del origen y evolución de las actividades y disciplinas deportivas que surgieron y se desarrollaron en Aguascalientes en el siglo XX, los principales personajes y atletas, el marco jurídico que sustentó la fundación de las primeras actividades y disciplinas deportivas, la fundación de las instituciones oficiales y privadas que nacieron para el desarrollo de dichas prácticas y disciplinas, el tipo de infraestructura e instalaciones, tanto públicas como privadas que se construyeron, los principales promotores e impulsores del deporte, los clubes atléticos, tanto privados como públicos que se fundaron, así como las acciones y los resultados de la política deportiva de tipo público que implementaron las autoridades del estado para el fomento y promoción de las primeras actividades y disciplinas atléticas en Aguascalientes durante el siglo XX.

A pesar de la dispersión de los datos localizados en los archivos históricos consultados, que propició dificultades para su respectiva obtención, se pudo recuperar el contenido de dichas fuentes de información a través de fotografía digital. Esto se debió a que es el procedimiento más noble para manipular los documentos, periódicos y revistas que se encuentran muy dañados por el paso del tiempo.

El proceso digital realizado permitió rescatar documentos que presentaban información de escuelas, correspondencia con el gobierno del estado, informes de clubes y ligas deportivas e incluso solicitudes por parte de varias comunidades pertenecientes a los municipios de la entidad, con solicitud de equipo y uniformes para fortalecer la práctica deportiva.

RESULTADOS

De los principales resultados obtenidos sobresalen los siguientes:

- Los distintos documentos, revistas, periódicos y fotografías de primera mano localizados en los archivos históricos especializados en México y Aguascalientes de la primera mitad del siglo XX. Esto representó sin lugar a dudas un significativo hallazgo y avance en el desarrollo de un estado del arte sobre el tema de estudio de las prácticas y disciplinas deportivas en Aguascalientes en el siglo XX.
- Las actividades y disciplinas atléticas que surgieron y se desarrollaron en Aguascalientes en el siglo XX fueron principalmente el béisbol, carreras de caballos, tenis, voleibol, fútbol, charrería, ciclismo, box, polo, natación, automovilismo, entre otros, que posteriormente se incrementaron en número y tipo de disciplina a lo largo del siglo XX. En relación con el marco jurídico que sustentó la fundación de las primeras actividades y disciplinas de este tipo en Aguascalientes destacan ante todo los decretos, reglamentos y leyes relativas al desarrollo de la educación y la cultura física en las escuelas, planes y programas de nivel básico y medio; la creación de la Dirección de Educación Física (1936) adscrita a la Secretaría de Educación Pública; las Escuelas de Educación Normal (1878, 1937); el Comité Deportivo del Estado (1933); las leyes de creación de la Casa de la Juventud adscrita al Instituto Nacional de la Juventud Mexicana (1961); Ley de Deporte del Estado de Aguascalientes (1998), así como los reglamento de las diferentes asociaciones y clubes deportivos que se fundaron a lo largo del siglo XX.

Con referencia a las principales instituciones oficiales que nacieron para el desarrollo de las prácticas y disciplinas deportivas se tiene que en el sector público estuvo el Departamento de Educación Física, Club MAFDA de oficinistas (1926), Club Deportivo Nacionales de México (1932), Centro Deportivo

Ferrocarrilero (1959), Casa de la Juventud (1961), Instituto Mexicano del Seguro Social (1964), Consejo Estatal de Recursos para Atención de la Juventud (CREA, 1977), Instituto Aguascalentense de la Juventud y el Deporte (1989), Instituto Aguascalentense del Deporte (1998), y el Instituto del Deporte del Estado de Aguascalientes (2009). Mientras que en el sector privado sobresalieron la Empresa Aguascalientes (1922), el Club Deportivo Aguascalientes (1950), Club Campestre (1953), así como clubes, ligas y asociaciones deportivas de diversos deportes de la localidad que se fueron constituyendo de manera formal a lo largo del siglo XX.

Por su parte, la infraestructura e instalaciones tanto públicas como privadas que se construyeron durante el siglo XX en Aguascalientes fueron de tipo estadio, parque, canchas, lienzo, campo, centro, casa, salón y ciudad deportiva, en donde sobresalen los siguientes: el Parque Obrero (1922), el Club Deportivo Nacionales de México (1932), el Estadio Municipal (1937), el Rancho Charro (1945), el Parque Aguascalientes (1946), el Parque Alberto Romo Chávez (1957), el Complejo Deportivo del 45º Batallón de Infantería (1937), la Cancha del Estado Jesús M. Rodríguez (1946); las canchas de basquetbol del templo el Encino, el Parián y la del templo de Guadalupe en los años 40; el Décimo Regimiento de Caballería (1945), la cancha Centro Social Morelos (1949), el Club Campestre (1953), el Centro Deportivo Ferrocarrilero (1959), la Casa de la Juventud (INJM, 1961), la Unidad IV Centenario (1975), las canchas deportivas del Instituto Tecnológico Regional de Aguascalientes (1974), el Centro Regional de Educación Normal (1975), la Ciudad Deportiva en Ciudad Industrial (1986), el CECADI en Ojocaliente (1988), el Estadio de la UAA (1991), la Ciudad Deportiva con alberca, gimnasio y estadio olímpicos (1998), así como las ciudades deportivas en los municipios de la década de los 90 del siglo pasado, entre otras muchas más que se fueron construyeron en las últimas dos décadas del siglo XX.

En los deportes y clubes privados, sobresalen el deporte profesional, teniendo al Club Tigres de béisbol en la década de los 60, el Club Cebras de futbol de tercera división (1965), los Rieleros en béisbol de la Liga Mexicana (1975), las Panteras (1973) en básquetbol, los Gallos en fútbol en segunda división y el Club Necaxa (2003) de primera división. Destacan también el Salón de la Fama del béisbol en el Centro Deportivo Ferrocarrilero (1981) y en el Parque de béisbol Alberto Romo Chávez (2004).

A lo largo del siglo XX fueron apareciendo muchos promotores, impulsores y deportistas dignos de mencionar, como el Gral. Juan B. Izaguirre, Jefe de la 14ª Zona Militar, el Gral. Manuel Madrigal, Comandante del 45º Batallón de Infantería, Lic. Héctor Valdivia Carreón, Felipe Vázquez Bueno, Salvador Delgado, Salvador Villalpando, Alfredo Morales Shaadi; en básquetbol los hermanos Carreón, Rodolfo Reyna y Mayron Bean; en béisbol están Antíoco Ramírez, José Morales, Lorenzo Vargas, Samuel "Chato" Dávalos Romo, Don J. Jesús Torres Barrera; en fútbol Deportes García, Camilo Barba, Armando Padilla Urenda; en ciclismo Francisco Leos, Enrique Castaings, los Hermanos Medel; en tenis Guillermo Hernández Duque; en gimnasia el matrimonio de apellidos Loranca; en pesas Rutilio Delgado Arias; en motociclismo los hermanos Gourcy; en boxeo y lucha libre Jesús Pérez; en automovilismo Pablo "Cuatro vientos" Gutiérrez Arcos; a los empresarios Raúl Medina (Rieleros), Rafael Ponce (Panteras), Jesús García Campos; entre otros muchos más.

De los clubes deportivos privados Club de fútbol, béisbol, polo, natación, Sociedad Deportiva Aguascalientes (1923), Club Deportivo Aguascalientes (1950), Club Campestre (1953), Club Cebras (1963), Rieleros (1975), Panteras (1973), Gallos (2001) y el Necaxa (2003). Del sector público paraestatal se fundaron el Club Deportivo Nacionales de México en 1932 y el Centro Deportivo Ferrocarrilero en 1959 (Moreno Ramos, 2004; Ovalle Morquecho, 2007 a y b).

DISCUSIÓN

Toda la información dispersa en los archivos históricos de Aguascalientes sobre las prácticas y disciplinas deportivas está en desorden, lo que impidió desarrollar y profundizar en algunos temas de la investigación, de ahí todavía es posible ubicar en este trabajo puntos no identificados o lagunas de épocas de dichas actividades del siglo XX, pese a ello se lograron los propósitos planteados en el presente estudio.

El detonante del inicio de la práctica de las actividades en estudio, así como de la organización formal de las actividades físicas y deportivas en clubes y ligas de béisbol, fútbol, rugby, básquetbol, tenis, voleibol, box, atletismo, polo, natación y charrería, lo constituyeron sin lugar a dudas la instalación en la ciudad de Aguascalientes de los Talleres Generales de Construcción y Reparación



Figura 2. Foto oficial equipo de fútbol Anáhuac, 1930. Fotografía tomada de la revista *Ferronales*. Archivo del Museo Nacional de los Ferrocarriles en México.

de Máquinas y Material Rodante (1897), la Gran Fundición (American Smelting), La Perla, la Jabonera del Centro; quienes trajeron las distintas disciplinas deportivas que se practicaron en aquellos lugares de origen.

El estudio demuestra que el marco jurídico del siglo XX fue determinante para el desarrollo de la cultura física y deportiva en Aguascalientes, ya que facilitó la gestión financiera para la fundación y crecimiento de las principales instituciones atléticas y la construcción de la infraestructura deportiva. Con ello surgieron muchos deportistas destacados, de asociaciones y clubes deportivos; así como personajes de la vida privada y pública que impulsaron diversas actividades y disciplinas deportivas.

En cuanto a las acciones y resultados de la política deportiva de tipo público que implementaron las autoridades del estado para el fomento y promoción de las primeras actividades y disciplinas deportivas en Aguascalientes durante el siglo pasado se tiene que, en el ámbito educativo, se relacionan con las acciones que se emprendieron en las escuelas adscritas a la Secretaría de Educación Pública y su correspondiente Delegación en la entidad, así como lo desarrollado por la Dirección y/o Departamento de Educación Física. En ese sentido, las políticas deportivas nacionales jugaron un papel preponderante en el crecimiento y desarrollo de las distintas ocupaciones deportivas en Aguascalientes. Así se observa en la injerencia de las fuerzas castrenses en la dirección, organización e implementación

de acciones deportivas en los estados, en los desfiles y en las primeras ligas atléticas que surgieron sobre todo en la primera mitad del siglo XX.

Sin embargo, el parteaguas en que la cultura física y el deporte se convirtieron en política de estado lo constituyó la creación de la Confederación Deportiva Mexicana en 1933, en la cual cada entidad de la república quedó inmersa en las acciones y decisiones que el gobierno federal llevara a cabo en esta materia, prueba de ello fue la erección del Comité Deportivo del Estado de Aguascalientes en 1933. A partir de dicho organismo estatal, los gobernadores de la entidad, desde 1933 hasta nuestros días, establecieron políticas deportivas para los sectores social, campesino, obrero, estudiantil, militar y el partido político oficial, a través de programas estratégicos determinados a nivel federal y que luego aterrizan a nivel estatal y a los municipios, incluyendo a las asociaciones, clubes y ligas deportivas asociadas a la Confederación Deportiva Mexicana (1933) y al Consejo Nacional de Cultura Física y Deporte (1933); todo ello se tradujo en apoyos y financiamiento, la construcción, el equipamiento y la rehabilitación de infraestructura deportiva del primer tercio del siglo XX, y las subsiguientes políticas deportivas de las décadas de toda la centuria pasada.

CONCLUSIONES

El tema de las actividades y disciplinas deportivas en Aguascalientes sigue constituyendo un tema de relevancia desde un enfoque no sólo deportivo, y que se puede abordar desde la perspectiva social, la política deportiva, la mercadotecnia atlética, la cultura física, el deporte escolar, la recreación, la educación cívica y los juegos, entre otros temas transversales que se incluyen de manera directa o indirecta a la explicación de toda una cultura física y deportiva, que a finales del siglo pasado y en la actualidad estamos viviendo. Este estudio se limitó a describir cómo se originaron y evolucionaron las prácticas y disciplinas deportivas, deja como agenda para posteriores trabajos los anteriores temas de investigación importantes.

El contexto histórico-social, aunado con el surgimiento de la industrialización en Aguascalientes, a través del paso de las vías y la instalación de los talleres del ferrocarril, la Gran Fundición, así como de otras pequeñas y medianas industrias harineras

y jaboneras, fueron sin lugar a dudas una influencia determinante en el nacimiento de las primeras ocupaciones atléticas en Aguascalientes, ya que potencializaron el surgimiento de equipos, clubes y asociaciones de diferentes deportes.

Esto sucedió en el marco del nacimiento del movimiento olímpico de fines del siglo XIX y el desarrollo de las competencias de los Juegos Olímpicos en las primeras décadas del siglo pasado, lo que revivió la práctica de los deportes de la antigua Grecia y se unió con los modernos, nacionales y regionales de distintos países del mundo que poco a poco se arraigaron.

Los deportes modernos de origen norteamericano y europeo como el béisbol, voleibol, fútbol, polo, boxeo, ciclismo, tenis, carreras de caballos en un hipódromo, básquetbol, el automovilismo, la natación en albercas, el tiro con arco, la cacería y por supuesto el deporte nacional: la charrería, representaron la génesis de la práctica de las actividades y disciplinas deportivas en la entidad; mismas que sentaron las bases para todo el siglo XX en los ámbitos jurídico, administrativo, financiero, en infraestructura física, formación de deportistas, capacitación y actualización de entrenadores, promotores e impulsores; así como la organización de clubes, asociaciones y de centros deportivos, tanto públicos como privados.

Pero el paradigma de formalización e institucionalización de las actividades y disciplinas deportivas a nivel local y nacional lo vinieron a constituir las políticas gubernamentales implementadas a partir de la creación del Comité Deportivo del Estado de Aguascalientes en 1933, quienes apuntalaron y fortalecieron la promoción de las prácticas del deporte en toda la entidad. Además, sentó la plataforma jurídica y las estrategias ideológicas, pedagógicas, cívicas y recreativas para orientar las políticas federales hacia las actividades y disciplinas atléticas.

Con este trabajo se pretendió cubrir un hueco documental referente a la historia de la práctica del deporte en Aguascalientes, ya que hasta el momento no se han desarrollado estudios a profundidad sobre dicho tema, con ello se obtienen beneficios para la sociedad, el mundo de la cultura física, el deporte y la investigación; de ahí su relevancia desde el punto de vista social y deportivo.

LITERATURA CITADA

- CADAVAL, A. El deporte visto por los universitarios. En *Cuadernos de Humanidades*: 24. México: Serie de Pensamiento, 1981.
 - CARREÓN ESPINOZA, A. Reseña histórica del basquetbol en Aguascalientes. *Boletín del Archivo Histórico del Estado de Aguascalientes*, 77-78, 2008.
 - Comité Deportivo del Estado. En Informe de Gobierno 1933. *Labor Libertaria*, 19 de enero de 1933.
 - CONADE (COMISIÓN NACIONAL DEL DEPORTE). *100 años de deporte en México*. México, 2000.
 - Consejo Nacional de Cultura Física. *Labor Libertaria*, 22 de enero de 1933.
 - Debaten los estatutos de la CDM. *El Universal*, 22 de julio de 1933.
 - GOBIERNO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES. *Complejo ex ferrocarrilero "Tres Centurias"*. México: Autor, 2002.
 - GOBIERNO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES. *Reinauguración del Salón de la Fama del Béisbol*. México: Oficina de Coordinación de Asesores, 2004.
 - GONZÁLEZ GONZÁLEZ, F. *Cuarto informe de gobierno*. Aguascalientes, México: Coordinación de Asesores, 2004.
 - GRANADOS ROLDÁN, O. *Sexto informe de gobierno*. México: Talleres Gráficos del Estado, 1998.
 - Inauguración del velódromo Bicentenario. *El Heraldo de Aguascalientes*, 12 de mayo de 2010.
 - *Informe que el C. GOBERNADOR CONSTITUCIONAL DEL ESTADO CORONEL y DOCTOR ENRIQUE OSORNIO CAMARENA (1933) rinde a la H. Legislatura, de conformidad con la fracción II del artículo 41 de la Constitución Política del Estado y Contestación del H. Congreso del Estado por conducto de su presidente, C. Diputado J. Jesús Guerra L. Aguascalientes (p. 42)*. Aguascalientes, México: Imprenta Rodríguez Romo.
 - *Informe que el C. GOBERNADOR CONSTITUCIONAL DEL ESTADO CORONEL y DOCTOR ENRIQUE OSORNIO CAMARENA (1934), rinde a la H. Legislatura, de conformidad con la fracción II del artículo 41 de la Constitución Política del Estado y Contestación del H. Congreso del Estado por conducto de su presidente, C. Diputado J. Jesús Guerra L. Aguascalientes (p. 45)*. Aguascalientes, México: Imprenta Rodríguez Romo.
 - La gran reunión de los deportistas. *El Universal*, 21 de julio de 1933.
 - MORENO RAMOS, V. *El centro deportivo ferrocarrilero*. México: Coordinación de Asesores del C. Gobernador de Aguascalientes, 2004.
 - MORENO RAMOS, V. *El deporte nacional de la charrería en Aguascalientes*. México: Coordinación de Asesores del C. Gobernador de Aguascalientes, 2004.
 - MORENO RAMOS, V. *El deporte ráfaga en Aguascalientes y la Cancha Hermanos Carreón*. México: Coordinación de Asesores del C. Gobernador de Aguascalientes, 2004.
 - MORENO RAMOS, V. y MEDRANO DE LUNA, G. *Los talleres del ferrocarril de Aguascalientes*. Aguascalientes, México: Coordinación de Asesores, 2004.
 - OVALLE MORQUECHO, L. C. *Historia del fútbol en la ciudad de Aguascalientes. De los equipos románticos al sueño de un equipo profesional*. Tesis de Maestría en Historia de México. México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2007 a.
 - OVALLE MORQUECHO, L. C. Las prácticas deportivas en Aguascalientes, documentos para el estudio del Primer Encuentro Atlético Ejidal en el estado 1937. *Boletín del Archivo Histórico del Estado de Aguascalientes*, 1(3): 78, 2007 b.
 - REYNOSO FEMAT, L. A. *Sexto informe de gobierno 2008*. México: Gobierno del estado de Aguascalientes, 2010.
 - RODRÍGUEZ REZA, Z. y GONZÁLEZ LÓPEZ, J. L. El deporte en Aguascalientes. *Boletín del Archivo General Municipal de Aguascalientes*, 15, enero-marzo-2008.
 - VARGAS GÓMEZ, L. *Remembranzas del béisbol de Aguascalientes*. Edición privada (8-10). Aguascalientes, México, 1989.
- Archivos consultados**
- AATV. ARCHIVO ALEJANDRO TOPETE DEL VALLE. ALANÍS HERRERA, A. (Corresponsal deportivo de *Ferronales*). Inauguración del Club Deportivo "Nacionales de México" Aguascalientes. *Revista Ferronales, Semanario Deportivo*, 17, marzo de 1932, Aguascalientes, México.
 - AATV. ARCHIVO ALEJANDRO TOPETE DEL VALLE. Nota periodística que de una pelea de box en la plaza de gallos Tivoli de San Marcos. *La Alborada*, 17 de abril de 1909, Aguascalientes, México.
 - AATV. ARCHIVO ALEJANDRO TOPETE DEL VALLE. Nota periodística que habla respecto al desarrollo de la vida deportiva. *Vida Deportiva*, 19 de agosto de 1923, Aguascalientes, México.
 - AATV. ARCHIVO ALEJANDRO TOPETE DEL VALLE. Nota publicada que informa de la carrera que se llevará a cabo en la ciudad de Aguascalientes. *La Alborada*, 27 de marzo de 1909, Aguascalientes, México.

- AATV. ARCHIVO ALEJANDRO TOPETE DEL VALLE. Nota publicada que informa respecto a la charreada que se llevará a cabo en la ciudad de Aguascalientes. *Renacimiento*, 19 de agosto de 1923, Aguascalientes, México.
- AATV. ARCHIVO ALEJANDRO TOPETE DEL VALLE. Noticia de periódico que publica el enfrentamiento de los equipos La Perla y Oficina Federal de Hacienda. *La Alborada*, 14 de diciembre de 1933, Aguascalientes, México.
- AGMA. ARCHIVO GENERAL DEL MUNICIPIO DE AGUASCALIENTES. Aguascalientes: Agencia de bicicletas. Expediente 333, f5, 1919.
- AGMA. ARCHIVO GENERAL DEL MUNICIPIO DE AGUASCALIENTES. Club de futbol "Halcones". Expediente 665/62, 21 de junio de 1929, Aguascalientes, México.
- AGMA. ARCHIVO GENERAL DEL MUNICIPIO DE AGUASCALIENTES. Comunicación relativa a la instalación de un Club Deportivo. Expediente 713.13.fs.2., 1927, Aguascalientes, México.
- AGMA. ARCHIVO GENERAL DEL MUNICIPIO DE AGUASCALIENTES. El Profr. Eugenio Carreón dirigió una carta al C. Presidente Municipal Sr. Don J. Guadalupe Zamarripa solicitándole apoyo para la publicación una revista deportiva. Expediente 761/73, 8 de octubre de 1931, Aguascalientes, México.
- AGMA. ARCHIVO GENERAL DEL MUNICIPIO DE AGUASCALIENTES. Nombramiento honorario al Presidente Municipal por la Liga Local de Base-Ball. Expediente, 753.30. Fs. 12, 5 de octubre de 1931, Aguascalientes, México.
- AGMA. ARCHIVO GENERAL DEL MUNICIPIO DE AGUASCALIENTES. Oficio de invitación al Presidente Municipal de la inauguración del Centro Deportivo de Ferrocarriles. Expediente 753/30, 18 de diciembre de 1931, Aguascalientes, México.
- AGMA. ARCHIVO GENERAL DEL MUNICIPIO DE AGUASCALIENTES. Oficio del club de Fútbol Anáhuac. Expediente 347, f15, Aguascalientes, México.
- AGMA. ARCHIVO GENERAL DEL MUNICIPIO DE AGUASCALIENTES. Reglamento para alquiler de bicicletas. Expediente 6-6/19, 30 de abril de 1919, Aguascalientes, México.
- AGMA. ARCHIVO GENERAL DEL MUNICIPIO DE AGUASCALIENTES. Remisión del proyecto de un contrato para el establecimiento de un Hipódromo en el año de 1909. Expediente 353.65 Fs. 19, 1909, Aguascalientes, México.
- AGMA. ARCHIVO GENERAL DEL MUNICIPIO DE AGUASCALIENTES. Solicitud de permiso de varios deportistas para practicar la natación en el estanque de la Cruz. Expediente 599/10, 1927, Aguascalientes, México.
- AHEA. ARCHIVO HISTÓRICO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES. Convocatoria Juegos Ejidales. Expediente 34, agosto 22 de 1938, Aguascalientes, México.
- AHEA. ARCHIVO HISTÓRICO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES. Informe sobre los Primeros Encuentros Atlético Ejidales del Estado. Oficio Número 96, Caja 425, Legajo 2, Expedientes 12 y 29, Aguascalientes, México.
- AHEA. ARCHIVO HISTÓRICO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES. Secretaría General, Comité Federal de Fútbol Local. Expediente 16, 27 de junio de 1935, Aguascalientes, México.
- AHEA. ARCHIVO HISTÓRICO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES. Secretaría General, Encuentro Atlético Intermunicipal. Expediente, 13 de mayo de 1935, Aguascalientes, México.
- AHEA. ARCHIVO HISTÓRICO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES. Secretaría General, Vale de Tesorería General del Estado de Aguascalientes, a bien de entrega de equipo para la comunidad "El Chicalote". Expediente 46, febrero de 1934, Aguascalientes, México.
- AHEA. ARCHIVO HISTÓRICO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES. CÁRDENAS, L. [Carta]. Secretaría General, Creación de Departamento de Educación Física. Expediente 4, 27 de enero de 1936, Aguascalientes, México.
- AMNFM. ARCHIVO DEL MUSEO NACIONAL DE LOS FERROCARRILES EN MÉXICO. Campeonato Ferrocarrilero de Tenis. *Ferronales* (órgano del personal de los Ferrocarriles Nacionales de México), III(III): 30, 2 de marzo de 1932, Puebla, México.
- AMNFM. ARCHIVO DEL MUSEO NACIONAL DE LOS FERROCARRILES EN MÉXICO. Foto oficial equipo de fútbol Anáhuac [Recorte de fotografía de revista]. *Ferronales*, 1930, Puebla, México.
- AMNFM. ARCHIVO DEL MUSEO NACIONAL DE LOS FERROCARRILES EN MÉXICO. Foto oficial novena de béisbol Águila [Recorte de fotografía de revista]. *Ferronales*, 1930, Puebla, México.
- APATV. ARCHIVO PARTICULAR DE ALEJANDRO TOPETE DEL VALLE. Hemeroteca, 15 de Mayo de 1937, Aguascalientes, México.

Voto electrónico: confiabilidad y utilización de tecnología

Electronic voting: reliability and implementation of technology

Alma Lilia Sapién Aguilar^{1*}, María del Carmen Gutiérrez Díez¹,
Laura Cristina Piñón Howlet¹

Sapién Aguilar, A. L., Gutiérrez Díez, M. C., Piñón Howlet, L. C. Voto electrónico: confiabilidad y utilización de tecnología. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 77-83, enero-abril 2017.

RESUMEN

El voto electrónico ha tomado importancia en México, ya que se han realizado estudios para su probable incorporación en las votaciones. En este trabajo se realizó un análisis de la confiabilidad y la utilización de la tecnología en este proceso, por su implicación social y económica. La población fueron los votantes mexicanos, mediante la encuesta de sondeos de opinión aplicada por el Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (CESOP) en 2014. Se utilizó una muestra de 1,400 votantes con edad promedio de 38 años; la proporción de hombres y mujeres fue la misma. Entre los resultados más importantes destacan que la mayoría tiene credencial de elector vigente y considera que con el voto electrónico es más fácil manipular los resultados, pero si este se llegara a utilizar, consideran más confiable la votación presencial a través de urnas electrónicas instaladas en lugares adecuados.

ABSTRACT

Electronic voting has become important in Mexico, since there have been studies for inclusion in the voting in Mexico. This paper presents an analysis of reliability and the use of technology in this process, its social and economic implication was performed.

Palabras clave: voto electrónico, fiabilidad, costo y tecnología.

Keywords: electronic voting, reliability, cost and technology.

Recibido: 1 de octubre de 2015, aceptado: 18 de julio de 2016

¹ Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

* Autor para correspondencia: lsapien@uach.mx

The population were Mexican voters, using opinion surveys applied by the Center for Social Studies and Public Opinion of the Chamber of Deputies. Being the sample of 1,400 voters with an average age of 38 years, and the proportion of men and women was the same. Among the most important results it stands out that the majority of respondents have a valid electoral ID card, and believes that electronic voting is easier to manipulate the results, but if this was used, voting would be considered more reliable in person through electronic voting machines installed in suitable locations.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de nuevas tecnologías en materia electoral ha aumentado a nivel mundial en los últimos años. El voto electrónico es un término que se ha empleado en forma general para identificar este proceso. De manera general existen dos tipos de voto electrónico. El primero se encuentra físicamente supervisado por representantes del órgano electoral y el segundo es el remoto, en el cual el votante no necesita desplazarse a una casilla electoral y se realiza mediante la tecnología de telefonía celular o por internet (Zissis y Lekkas, 2011).

El tema de voto electrónico remoto es mucho más complejo y actualmente pocos países se encuentran en posibilidades de implementarlo de forma masiva. Algunos otros muestran suspicacia a permitir que los ciudadanos emitan votos mediante internet y telefonía celular, pues se duda de la confiabilidad de los servidores que aplican y analizan los resultados y, por consiguiente, de la voluntad ciudadana. Los intentos de utilizar las tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) en los diversos aspectos del voto electrónico (VE)

pueden parecer recientes, pero no es así. De hecho, una de las primeras aplicaciones de las tecnologías electromecánicas sucedió a finales del siglo XIX, fue su uso para el ejercicio del VE y del recuento de votos posterior (Creelan y Norden, 2005).

La idea de modernizar los procesos electorales utilizando tecnologías basadas en la electrónica proviene de pensadores como Fromm (1955), Fuller (1963), Arterton (1987) y Rheingold (1993). En la actualidad existen pocos países que no han intentado desarrollar pruebas de voto electrónico con diversos tipos de soluciones y tecnologías. El objetivo de este trabajo fue analizar la confiabilidad y la utilización de la tecnología en el voto electrónico a partir de la encuesta de sondeos de opinión aplicada por el Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (CESOP) en 2014.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis de la base de datos se utilizó el programa estadístico SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*). Se realizaron análisis estadísticos descriptivos basados en la asociación de variables, tabulación cruzada, análisis de correlaciones, de frecuencias, correspondencias y chi-cuadrada con el objetivo de reportar los resultados de la investigación en forma simplificada y con alto grado de confiabilidad y validez estadística. Para el estudio de la información se utilizó el instrumento realizado por el Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública (CESOP) sobre el voto electrónico aplicado en 2014, se examinó lo relacionado con la utilización de tecnología, el conocimiento del voto electrónico y la confiabilidad. La población estuvo conformada por 76 millones de votantes, que eran los registrados en el padrón de votantes mexicanos del Instituto Nacional Electoral (INE). Se aplicaron 1,400 encuestas, para esto se utilizó muestreo aleatorio estratificado, proporcional a la población de cada estado y municipio.

RESULTADOS

Fueron analizadas diversas preguntas en relación con la confiabilidad que los votantes tienen con respecto al uso del voto electrónico, los costos de este sistema tecnológico: si se considera que sería un sistema más barato, igual o más caro que el sistema actual de votación y la utilización de tecnología. No hay relación entre la edad y la consideración de que el voto electrónico es o no confiable. La

correlación es significativa pero hay poca fuerza en la relación de estas variables. De los encuestados, 62.4% prefieren la votación presencial a través de urnas electrónicas instaladas en lugares adecuados. Estos análisis estadísticos muestran diferentes niveles de asociaciones entre aspectos de la percepción de confianza y participación ante el uso de un voto electrónico, sus motivos para votar o no votar, así como la perspectiva ante la situación del país, índices de estado de ánimo social y público, interés en participar el procesos electorales, mismos que pueden ser observados a través de los diferentes grupos de edad establecidos para tal fin.

Un resumen de todos los aspectos analizados se muestra en la Tabla 1.

Si se empieza por analizar cuáles son los grupos que participan o no, de acuerdo con las elecciones presidenciales de 2012, se encuentra que los grupos más numerosos oscilan entre las edades desde 26 hasta 49 años, en total más de la mitad de los votantes; mientras el grupo que presenta mayor abstencionismo es el de edades comprendidas entre los 18 y los 25 años. Esto indica que entre los más jóvenes existe una falta de interés en participar.

Al analizar sus motivos para sí votar, se encuentran mayormente razones de confianza, utilidad e interés. A nivel país se establecieron razones técnicas y de confianza. Estos resultados contrastan con sus respectivas visiones de la situación del país. Para los grupos entre 26 y 49 años, son mayormente pesimistas y con miedo. De igual forma se perciben el Índice de Estado de Ánimo Social (IEAS) e Índice de Estado de Ánimo Público (IEAP), los cuales mostraron valores interpretados como negativos; en ambos casos de acuerdo a los resultados del estudio del CESOP (2014). En el caso de los más jóvenes, su percepción es optimista; sin embargo, son los que menos participan en las elecciones.

Por otra parte, para los grupos mencionados con mayor participación, su interés en los procesos electorales es prácticamente ninguno. Al evaluar la percepción de confiabilidad con respecto al uso del voto electrónico, lo ven como igual o más confiable que el sistema actual. De igual forma perciben de forma positiva el uso de esta tecnología del voto electrónico, para aumentar la participación en los comicios. Es interesante observar que el grupo que presenta mayor porcentaje de abstencionismo, los jóvenes de 18-25 años, percibe de forma contrastante

Tabla 1. Grupos de edad y sus diferentes percepciones

Rango edad	Sí votó 2012	Razones sí votó	No votó 1012	Razones no votó	Situación de país	Interés en procesos electorales	Confianza voto electrónico	Participación con voto electrónico	Medios
18-25	124	T/I	200	U/I	Optimista		Menos confiable	Más participación	Internet/RS
26-33	161	U/C	80	U/C	Pesimista		Igual confiable	Más participación	Internet/RS
34-41	157	C/I	80	C/I	Pesimista	Nada	Igual confiable	Igual participación	Internet/RS
42-49	170	I/U	90	I/T	Con miedo	Nada	Más confiable		Internet/RS
50-57	109	I/T	36	C/T	Optimista	Mucho	Menos confiable	Igual participación	Internet/RS
58-65	47	T/P	16	C/T	Esperanza		Nc		Internet/RS
66-73	29	T/P	11	C/T	Triste				Internet/RS
74-87	16	U/C	2	T/I	Ns/Nc				Internet/RS
Total país	813	T/C	515	P/T					

T-técnicas, I-interés, U-utilidad, C-confianza, P-personales, RS-redes sociales, Ns-no sabe, Nc-no contestó. Gutiérrez Diez y Salcido Ornelas (2015).

una mayor participación en las elecciones al usar el voto electrónico, aunque no lo perciben como confiable. Quizá esto pudiera explicarse por la curiosidad propia de experimentar con la nueva modalidad.

Acerca de los motivos de quienes respondieron no haber participado en las últimas elecciones presidenciales, y en cuanto a las correlaciones, mostraron valores contundentes, al detallar las respuestas para las razones que tuvieron la mayoría de los encuestados dijeron no saber o no contestaron, lo cual no permite establecer claramente los motivos de dicho abstencionismo. Sin embargo, al continuar analizando los porcentajes se encuentra que el motivo personal que describe que porque se dio cuenta que el voto se intercambia por favores, dinero o regalos es el de mayor frecuencia. Para los grupos restantes, con edades entre 58 y 87 años, aunque participan, no muestran ninguna asociación o relación en particular.

Otra observación es el hecho de que los grupos de edad más jóvenes, entre los 18 y 57 años, tienen la percepción de una mayor participación, así como de confianza en el uso del voto electrónico, independientemente de su poco interés en participar en elecciones. Su percepción varía en la confianza hacia el uso de esta tecnología. El porcentaje que

considera más barato usar el voto electrónico en relación con el sistema actual es 43.1%, pero 32.7% lo considera más caro.

Se afirma que la participación ciudadana es un factor clave en los procesos de fortalecimiento democrático, en particular en América Latina su formación y evolución ha sido creciente en los últimos años. Algunos cambios legales han permitido la inclusión de los ciudadanos en las tomas de decisiones y con esto el ejercicio de soberanía más allá del voto. En el caso de México, según la Encuesta Mundial de Valores (*World Values Survey Association, 2005*), 76% de los mexicanos aseguran no pertenecer a ningún tipo de organización; solamente 13.8% afirmó ser miembro activo de alguna, principalmente relacionada con religión, deporte y recreación (Vergara Lope Tristán y Hevia de la Jara, 2012).

Esta pertenencia o asociación se puede explicar levemente según el *Informe país sobre la calidad de la ciudadanía en México*, publicado en 2015 por el INE (Instituto Nacional Electoral) y el COLMEX (Colegio de México), a través de la confianza. Si la persona confía tiene mayor probabilidad de relacionarse e incrementar su participación en diferentes tipos de procesos y en la toma de decisiones derivada de los mismos.

Si se analiza la opinión expresada por los ciudadanos en la encuesta del CESOP (2014), donde se les preguntó la opinión con respecto a las instituciones y autoridades, como el presidente, partido en el poder, representantes de partidos, gobierno de la república, poder legislativo, tribunales y juzgados; se encuentra que la balanza se inclina hacia una mala y muy mala percepción, lo cual demerita la confianza hacia las mismas y su propio involucramiento con ellas.

Entonces, ¿cuál es esa pertenencia a una comunidad?, ¿existe en México este sentido de pertenencia? De acuerdo al estudio ya mencionado de calidad de la ciudadanía de 2015, los resultados sugieren que la mayor parte de los municipios del país son de bajo desarrollo, por lo que no hay condiciones que favorezcan las asociaciones locales y, por tanto, existe una fragmentación de la sociedad, lo cual no permite la generación de una comunidad que participe y exija sus derechos.

Por otra parte, existen índices que permiten establecer cuál es el estado de ánimo social y público. Según establece el CESOP(2014), en los resultados de la encuesta nacional de opinión pública acerca de voto electrónico: "el índice estado de Ánimo social (IEAS), similar al índice *social mood*, mide qué tan optimistas o pesimistas se sienten los ciudadanos respecto lo que resta del sexenio". Otro registro establecido para el mismo estudio es el índice de estado de ánimo público (IEAP) derivado de cuatro indicadores, utilizado en el *American National Election Studies*, para tratar de entender las relaciones entre varios procesos afectivos y el comportamiento político de los ciudadanos.

DISCUSIÓN

De acuerdo con los hallazgos planteados, tanto de este estudio como de otros, se puso de manifiesto el impacto trascendente de las tecnologías de la información en diferentes aspectos de la sociedad y en las organizaciones, efectos de innovación, sociales y económicos; el voto electrónico es motivo de investigación y se han realizado diversos estudios que analizan la conveniencia o inconveniencia para su incorporación en la democracia, en las votaciones para elegir a los gobernantes en México. Con la idea de ayudar en la decisión del ingreso de este sistema electoral, en el presente trabajo se realizó un análisis en relación con su confiabilidad y cómo consideran los votantes la utilización de la tecnología

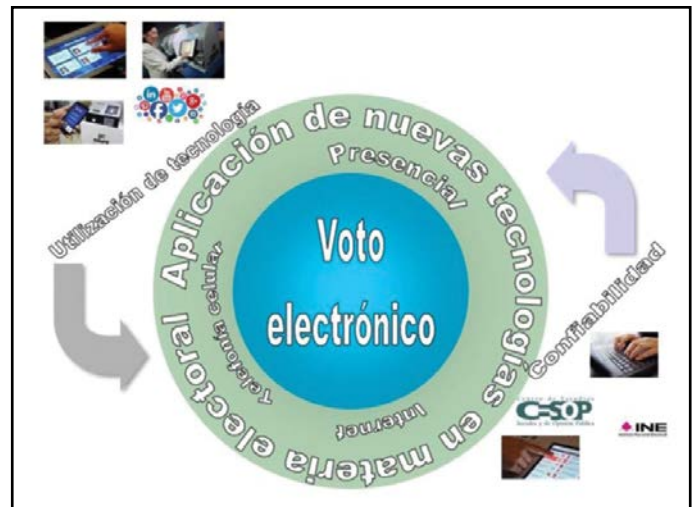


Figura 1. Voto electrónico: confiabilidad y utilización de tecnología. Imagen elaborada por Alma Lilia Sapién Aguilar.

en este proceso. Por tanto, la exigencia por producir transparencia, seguridad y disminución de los costos en los procesos electorales ha encontrado en la utilización de la tecnología un método que permite mejorar su realización. Sin embargo, el panorama de la legislación electoral europea parece un mosaico variado y colorido de requisitos, procedimientos y herramientas técnicas. Algunos países revocaron el voto electrónico cuando perdieron el apoyo de la base electoral, sin importar si era una novedad como en Irlanda (*Commission on Electronic Voting*, 2004a y b) o un hábito bien establecido como en Holanda (Gonggrijp et al., 2006; Oostveen, 2007, 2010). Otros han sido más cuidadosos y han organizado pruebas y experimentos con y sin valor legal, aunque siempre lo han hecho a una escala limitada; esto ha pasado en Suiza (Braun, 2004; Braun y Brändli, 2006), Gran Bretaña (Fairweather y Rogerson, 2003), España (Fernández Rodríguez et al., 2007), Portugal (Falcão e Cunha et al., 2008), e Italia (Caporusso, 2008). Actualmente algunos países, como Bélgica y Francia, utilizan máquinas electrónicas; mientras que en los países bálticos han explorado y adoptado canales más y más innovadores: voto por internet que se ha usado con éxito en Estonia (Madise y Martens, 2006) y ha sido considerado en Lituania (Udris, 2006), e incluso voto por mensaje de texto a través del teléfono celular, como fue aprobado recientemente en Estonia (*World E-Democracy Forum*, 2008).

Experiencias de voto vía internet de carácter legal muestran resultados contradictorios: encuestas realizadas después de las elecciones democráticas primarias en Arizona en el año 2000 llegaron a la

misma conclusión, ya que encontraron un impacto significativo en edad y nivel de educación; mientras que el sexo no formó parte de la decisión de votar en línea (Solop, 2001; Kenski, 2005). Por otro lado, divergen de manera considerable al interpretar el efecto del ingreso, significativo a nivel de dos variables (Solop, 2001; Kenski, 2005) o al cruzar datos ecológicos en vez de individuales (Gibson, 2005); pero pierden poder al ser agrupados en un modelo multivariado (Solop, 2001). La ubicación (urbana/rural) no tiene un efecto estadísticamente significativo (Solop, 2001), ni la adherencia a un partido (Kenski, 2005). Algunos autores insisten en la existencia de una diferencia digital entre clases sociales y grupos de sexo y edad diferentes (Gibson, 2005). Datos individuales de participación electoral durante las elecciones primarias en Michigan del año 2004 les permitieron a los investigadores abordar las particulares preocupaciones de los defensores. La raza y clase no fueron significativas y un modelo de dos decisiones clarificó que su impacto es limitado a la opción de votar en ausencia: cuando se ha tomado esta decisión, no juegan un papel al seleccionar el método preferido (correo o internet) para votar (Prevost y Schaffner, 2008).

Existen otros estudios que refuerzan esta percepción de desconfianza y desencanto hacia el sistema político en general y en particular a los responsables de la procuración de justicia (CESOP, 2014; INE-COLMEX, 2015), aunque hay que destacar la variación de la confianza en organismos como el IFE/INE, que ha perdido credibilidad, ya que alcanzó su nivel máximo en el año 2000 durante la alternancia del PRI al PAN pero registró 9% en 2011 (Martí I. Puig, 2012); mientras que en la encuesta de CESOP (2014), el nivel de credibilidad se reportó como 10%.

Por otra parte, en estudios de opinión pública en democracias occidentales, se llega a la conclusión de que los ciudadanos cuentan con poca información acerca de los asuntos públicos, con opiniones contradictorias y poca estabilidad en sus juicios. Sin embargo, los mexicanos emiten continuamente opiniones sobre prácticamente cualquier cosa, incluyendo políticas públicas. Lo anterior se puede confirmar en los resultados obtenidos por el CESOP (2014), donde se expresa claramente que la principal fuente de información y noticias con respecto a lo que pasa en el país es a través de medios electrónicos: internet y redes sociales.

No se puede hablar de ciudadanía, ni sus percepciones acerca de cualquier tema, sin

relacionarla con la participación. Para ello es fundamental distinguir entre la participación política y la que no lo es; aunque en muchas ocasiones esto causa confusión, es difícil distinguir una de la otra, e inclusive se desconoce que se puede participar políticamente sin participar electoralmente (en votaciones).

Es interesante observar que las asociaciones religiosas, a pesar de no participar a través de la emisión de un voto en las elecciones, sí participan o se mantienen informadas con una frecuencia diaria a través de los medios electrónicos, particularmente de las redes sociales. Estos medios ayudan a compensar la falta de información del ciudadano común, para que construya sus propias opiniones, de tal forma que pueda comprender la complejidad de los temas políticos (Buendía, 2010).

De acuerdo con los hallazgos planteados, tanto de este estudio como de otros, se coincide en que existe una carencia de cohesión y participación social, lo cual no permite la construcción de una ciudadanía activa, que ejerza y exija sus derechos. Existe una manifiesta desconfianza en instituciones y sus respectivos representantes. Lo peor es que tampoco se observa interés de los ciudadanos en participar en la toma de decisiones que conlleven a un cambio. Hay un desencanto total (Reyes, 2014).

Sin embargo, se puede esperar que la edad, sexo, ocupación y educación estén asociados con la inclinación a votar en internet o por medios electrónicos, según los resultados de esta investigación. Como explican Guerra y Zizzo (2003), la confianza en el otro es crucial al establecer relaciones, se argumenta que el flujo de confianza comienza al confiar en las instituciones que organizan las elecciones (Xenakis y Macintosh, 2005).

CONCLUSIONES

La mayoría de los encuestados consideró más confiable la votación presencial a través de urnas electrónicas instaladas en lugares adecuados. Al analizar los grupos de edad que participan o se abstienen en los procesos electorales, es alarmante observar el poco interés que muestran los segmentos de menor edad. Esta confianza tiene influencia de la percepción de la situación del país, reflejada en los índices establecidos como el estado de ánimo social y público. Este último es el que muestra mayor peso en la percepción de participación mediante el voto

electrónico. Esta misma confianza establecida ante los organismos y mecanismos electorales se refleja en los motivos que llevan al ciudadano a participar en las elecciones y, por ende, a la aceptación eventual de los medios tecnológicos que se establezcan para recabar los votos.

Quienes tienen una percepción favorable de la situación del país muestran una opinión positiva ante el uso del voto electrónico, como una tecnología que permita recabar los sufragios y poder

obtener los derivados del uso de esta tecnología. Por otra parte, si se retoma el análisis hecho a los medios de comunicación utilizados para conocer lo que sucede en el país, es posible observar que las barreras en el uso de la tecnología prácticamente no existen entre los diferentes grupos de edad, ya que todos coinciden en el uso de internet y de las redes sociales para informarse. A través de estos medios se debe mantener informada a la ciudadanía en los aspectos de confianza y participación activa en la vida política del país.

LITERATURA CITADA

- ARTERTON, C. *Teledemocracy: can technology protect democracy?* Newbury Park, California, US: SAGE publications, 1987.
- BRAUN, N. E-voting: Switzerland's projects and their legal framework. In A. PROSSER & R. KRIMMER (Ed.), *Electronic voting in Europe: Technology, law, politics and society. Workshop of the ESF TED Programme together with GI and OCG. July, 7th-9th 2004 in SchloB Hofen/Bregenz, Lake of Constance, Austria* (43-52). Bonn, Germany: GI, 2004.
- BRAUN, N. y BRÄNDLI, D. Swiss e-voting pilot projects: Evaluation, situation analysis and how to proceed. In R. KRIMMER (Ed.), *Electronic voting 2006, GI lecture notes in informatics* (27-36). Bonn, Germany: GI, 2006.
- CAPORUSSO, L. There is more to e- than meets the eye: Towards automated voting in Italy. In J. M. RENIU (Ed.), *E-voting: The last electoral revolution* (27-44). Barcelona, Spain: ICPS, 2008.
- FAIRWEATHER, B. y ROGERSON, S. Internet voting-Well at least it's modern. *Representation*, 39(3): 182-195, 2003.
- FALCÃO E CUNHA, J. et al. Auditing e-voting pilot processes and systems at the elections for the European Parliament and for the Portuguese Parliament. In J. M. RENIU (Ed.), *E-voting: The last electoral revolution* (93-114). Barcelona, España: ICPS, 2008.
- FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, J. J. et al. *Voto electrónico. Estudio comparado en una aproximación jurídico-política (desafíos y posibilidades)*. Santiago de Querétaro, México: Fundación Universitaria de Derecho, Administración y Política, 2007.
- FROMM, E. *The sane society*. New York, US: Rinehart, 1955.
- FULLER, B. R. *No more secondhand God*. US: Southern Illinois University Press, 1963.
- GUTIÉRREZ DIEZ, M. C. y SALCIDO ORNELAS, D. *Factores que influyen sobre percepciones de confianza y participación en elecciones a través del voto electrónico*. Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua, 2015.
- GIBSON, R. Internet voting and the European Parliament's elections: Problems and prospects. In A. TRECHSEL & F. MENDEZ (Eds.), *The European Union and e-voting: Addressing the European Parliament's internet voting challenge*. London, UK: Routledge, 2005.
- KENSKI, K. To I-vote or not to I-vote? Opinions about internet voting from Arizona voters. *Social Science Computer Review*, 23(3): 293-303, 2005.
- MADISE, Ú. y MARTENS, T. E-voting in Estonia 2005. The first practice of country-wide binding internet voting in the world. In R. KRIMMER (Ed.), *Electronic voting 2006, GI lecture notes in informatics* (15-26). Bonn, Germany: GI, 2006.
- OOSTVEEN, A. M. *Context matters. A social informatics perspective on the design and implications of large-scale e-government systems*. Amsterdam, Netherlands: University of Amsterdam, 2007.
- OOSTVEEN, A. M. Outsourcing democracy: losing control of e-voting in the Netherlands. *Policy & Internet*, 2(4): 201-220, 2010.
- PREVOST, A. K. y SCHAFFNER, B. F. Digital divide or just another absentee ballot? Evaluating internet voting in the 2004 Michigan democratic primary. *American Politics Research*, 36(4): 510-529, 2008.
- RHEINGOLD, H. *The virtual community. Homesteading on the electronic frontier*. Reading, MA, US: Addison-Wesley, 1993.
- SOLOP, F. I. Digital democracy comes of age: Internet voting and the 2000 Arizona democratic primary election. *PS: Political Science & Politics*, 34(2): 289-293, 2001.

- UDRIS, J. The Lithuanian concept of voting via internet for elections and referenda. Presentation held at the *Council of Europe on account of the Central Electoral Commission of the Republic of Lithuania*, November 16, in Strasbourg, France. Bonn, Germany: GI, 2006.
- XENAKIS, A. y MACINTOSH, A. Trust analysis of the UK e-voting pilots. *Social Science Computer Review*, 23(3): 312-325, 2005.
- ZISSIS, D. y LEKKAS, D. Securing e-Government and e-voting with an open cloud computing architecture. *Government Information Quarterly*, 28(2): 239-251, 2011.

De páginas electrónicas

- BUENDÍA, J. Los fundamentos de la opinión pública. En El Colegio de México (Ed.), *Los grandes problemas de México: XIV. Instituciones y procesos políticos (303-330)*. 2010. Recuperado en febrero de 2015, de <http://2010.colmex.mx/tomos2.html>
- CESOP (CENTRO DE ESTUDIOS SOCIALES Y DE OPINIÓN PÚBLICA DE LA CÁMARA DE DIPUTADOS). *Encuestas*. Diciembre de 2014. Recuperado en febrero de 2015, de <http://www5.diputados.gob.mx/index.php/camara/Centros-de-Estudio/CESOP/Opinion-Publica/Encuestas>
- COMMISSION ON ELECTRONIC VOTING. *First report of the Commission on Electronic Voting on secrecy, accuracy and testing of the chosen electronic voting system*. 2004a. Recuperado de <http://www.umic.pt/images/stories/publicacoes1/00Index.pdf>
- COMMISSION ON ELECTRONIC VOTING. *Interim report of the Commission on Electronic Voting on secrecy, accuracy and testing of the chosen electronic voting system*. 2004b. Recuperado de <http://www.umic.pt/images/stories/publicacoes1/V02.pdf>
- CREELAN, J. y NORDEN, L. *The requirements of New York University School of Law*. Noviembre 2 de 2005. Recuperado de www.wheresthepaper.org/
- GONGGRIJP, R. et al. Nedap/Groenendaal ES3B voting computer. A security analysis. *Spoedcursus stemcomputers*. *Wij vertrouwen stem computers niet*. October 2006. Recuperado de <http://wijvertrouwenstemcomputersniet.nl/other/es3b-en.pdf>
- GUERRA, G. A. y ZIZZO, D. J. *Economics of trust in the information economy: Issues of identity, privacy and security*. Research Report No. 1. Oxford, UK: Oxford Internet Institute, 2003. Recuperado de <https://www.oii.ox.ac.uk/archive/downloads/publications/RR1.pdf>
- INE (INSTITUTO NACIONAL ELECTORAL)-COLMEX (EL COLEGIO DE MÉXICO). *Informe país sobre la calidad de la ciudadanía en México*. 2015. Recuperado en febrero de 2015, de http://www.ine.mx/archivos2/s/DECEYEC/EducacionCivica/Resumen_Ejecutivo_23nov.pdf
- MARTÍ I. PUIG, S. Ciudadanía y cultura política en México a dos sexenios de la "alternancia". *Foro Internacional*, LII(4): 864-884, 2012. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/599/59929086005.pdf>
- REYES, A. El reto de los valores, percepciones y prácticas ciudadanas: Informe País. *El Semanario*, 23 de agosto de 2014. Recuperado en febrero de 2015, de <http://elsemanario.com/69606/el-reto-de-los-valores-percepciones-y-practicas-ciudadanas-informe-pais/>
- VERGARA LOPE TRISTÁN, S. y HEVIA DE LA JARA, F. J. Para medir la participación. Construcción y validación del Cuestionario Conductas de Participación (CCP). *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales (UNAM)*, LVII(215): 35-67, 2012. Recuperado en 2014, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42125325002>
- WORLD E-DEMOCRACY FORUM (2008). Estonia to vote by mobile phone in 2011. Recuperado de <http://www.edemocracy-forum.com/2008/12/estonia-to-vote-bymobile-phone-in-2011.html>
- WVS (WORLD VALUES SURVEY ASSOCIATION). *World Values Survey Wave 5 2005-2008 Official Aggregate v.20140429*. Aggregate File Producer: Asep/JDS, Madrid, Spain, 2005. Recuperado de www.worldvaluessurvey.org

Vegetación de Sierra Rica: el papel de la biogeografía en la formación de las comunidades vegetales en Manuel Benavides, Chihuahua, México

Vegetation of Sierra Rica: the role of biogeography in the formation of plant communities in Manuel Benavides, Chihuahua, Mexico

Alicia Juárez Pérez¹, Alicia Melgoza², Jesús A. Fernández^{2*}

Juárez Pérez, A., Melgoza, A., Fernández, J. A. Vegetación de Sierra Rica: el papel de la biogeografía en la formación de las comunidades vegetales en Manuel Benavides, Chihuahua, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 84-91, enero-abril 2017.

RESUMEN

Sierra Rica pertenece al Área de Protección de flora y fauna Cañón de Santa Elena, en el municipio de Manuel Benavides, Chihuahua, México y se considera una isla del cielo biogeográfico. Aquí se presenta una caracterización biogeográfica del área que se pretende ayude a entender la magnitud de su diversidad vegetal y sus patrones de distribución. Se realizó una revisión bibliográfica complementada con visitas al área de estudio. El origen geológico fue durante la actividad volcánica presente en la era Cenozoica que dio lugar a factores físicos importantes para la distribución de la vegetación. Entre estos factores se identifican microclimas, aspectos fisiográficos y edafológicos, y entre los aspectos bióticos, fuerzas evolutivas como la selección, microorganismos del suelo, mecanismos de dispersión e interacciones bióticas. El establecimiento del bosque de pino, del bosque de encino, pastizal y matorral ha sufrido cambios a través del tiempo; sin embargo, hay elementos que no han cambiado en composición, sólo en distribución.

Palabras clave: biogeografía, Desierto Chihuahuense, distribución geográfica, fisiografía, isla de montaña, tipos de vegetación.

Keywords: biogeography, Chihuahua Desert, geographic distribution, physiography, sky island, vegetation types.

Recibido: 13 de octubre de 2015, aceptado: 19 de agosto de 2016

¹ Maestría en Producción Animal y Recursos Naturales, Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

² Departamento de Recursos Naturales, Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

* Autor para correspondencia: afernandezf@uach.mx

ABSTRACT

The Sierra Rica belongs to the Flora and Fauna Protection Area Santa Elena Canyon, and it is placed in the municipality of Manuel Benavides of Chihuahua, Mexico, and is considered a biogeographic sky island. Here we present for the first time, a biogeographic characterization of this area, providing a review that will help to understand plant diversity, its origins and distributional patterns. We made a bibliographic review complemented with fieldwork performed at the study area. The geological origin of Sierra Rica goes back to the volcanic activity of the Cenozoic era, giving rise to abiotic and biotic features relevant to plant distribution. Among those factors we identified microclimates, soil and physiographic features, as well as evolutionary forces like selection, soil microorganisms, dispersal mechanisms, and organismic interactions. The establishment of the pine and oak forests, grassland and shrub land communities have suffered changes through time, however, there are elements that did not change composition, only change distribution.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte del estado de Chihuahua se ubica en el Desierto Chihuahuense (DC), con ecosistemas de pastizal, matorral y bosque de coníferas (CONABIO, 2014). Dentro de los ecosistemas que ocupan las planicies del DC se presentan montañas aisladas de elevada altitud llamadas islas del cielo (McCormack et al., 2009; Granados Sánchez et al., 2011). Estas zonas de montaña destacan por su vegetación y fisiografía diferente al de las áreas que les circundan, pero también por ser excelentes sistemas para investigar de qué forma, fuerzas evolutivas como la selección natural y la deriva genética actúan para generar diversidad biológica.

Sierra Rica es parte de un sistema de islas del cielo llamado Archipiélago de la Sierra Madre, que incluye montañas del suroeste de Estados Unidos y del norte de México (McCormack et al., 2009). Sierra Rica es una montaña aislada que presenta vegetación de bosque, matorral y pastizal rodeada de valles con vegetación de matorral desértico que impide el intercambio genético con poblaciones que habitan otras islas del cielo con vegetación similar. Para entender la dimensión de los patrones de distribución heterogéneos que se presentan, la biogeografía es una herramienta que permite analizar y estudiar los factores causantes de la distribución de especies a través del tiempo ecológico e histórico (Cox y Moore, 1993; Lomolino et al., 2010). Estos factores son de carácter biótico, como preferencias de hábitat o características genéticas y abióticos como humedad, temperatura y salinidad (Monge, 2008). Asimismo, la distribución de las especies se ajusta a las características del medio físico, el cual es forjado y modificado por factores históricos como la actividad geológica (Cevallos Ferris et al., 2012).

Granados Sánchez et al. (2011) mencionan que el clima y la topografía son los principales factores que crean las características espaciales y temporales de las comunidades vegetales en zonas áridas al limitar la productividad vegetal. Un ejemplo de esto es el levantamiento de cadenas montañosas en el oeste de Norteamérica que alteró la topografía y la distribución de múltiples especies de plantas y animales como las poblaciones de especies del género *Pinus*, que en algunos lugares desapareció y en otros, sus poblaciones quedaron como relictos de una distribución histórica más amplia (Sánchez, 2008). En esta revisión se presenta una caracterización biogeográfica de Sierra Rica que aborda los aspectos ecológicos e históricos que moldearon la diversidad vegetal actual y permitirá comprender los patrones de diversidad y distribución de las comunidades vegetales en esta región.

Área de estudio. Sierra Rica ocupa una superficie de 4,464 ha dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena en el municipio de Manuel Benavides, al noreste del estado de Chihuahua, México (Figura 1). La ubicación geográfica es 29° 07' 39.9" N, 104° 10' 46.62" O y 29° 11' 36.86" N, 104° 04' 26.10" O. La precipitación media anual es de 570.71 mm y la temperatura media anual oscila entre 18 °C y 22 °C (SEMARNAT, 2013). La altitud se encuentra entre los 1,450-2,409 m.s.n.m., la topografía varía de lomeríos de altitud

baja hasta cañadas y pendientes escarpadas de más de 30°. El clima según Köppen, modificado por García (2004) es BWhw, y corresponde a árido o desértico (SEMARNAT, 2013). Hidrológicamente, la zona pertenece a la Región Bravo-Conchos RH-24 y corresponde a la subcuenca Río Bravo-Arroyo Ventanas; los arroyos principales son La Consolación y Ventanas (INEGI, 2013).

Los suelos presentes son rendizina y litosol. Estos suelos se caracterizan por ser de poca profundidad, descansan sobre rocas ígneas extrusivas y sedimentarias (SEMARNAT, 2012). La vegetación que domina la mayor parte de la zona es bosque de pino; sin embargo, se observa pastizal amacollado arborescente y mediano abierto (COTECOCA, 1978; SEMARNAT, 2013).

Origen geológico. El DC se ha caracterizado y definido por las formaciones orográficas que le rodean: la Sierra Madre Occidental por el oeste, Sierra Madre Oriental por el este y el Eje Neovolcánico Transversal al sur.

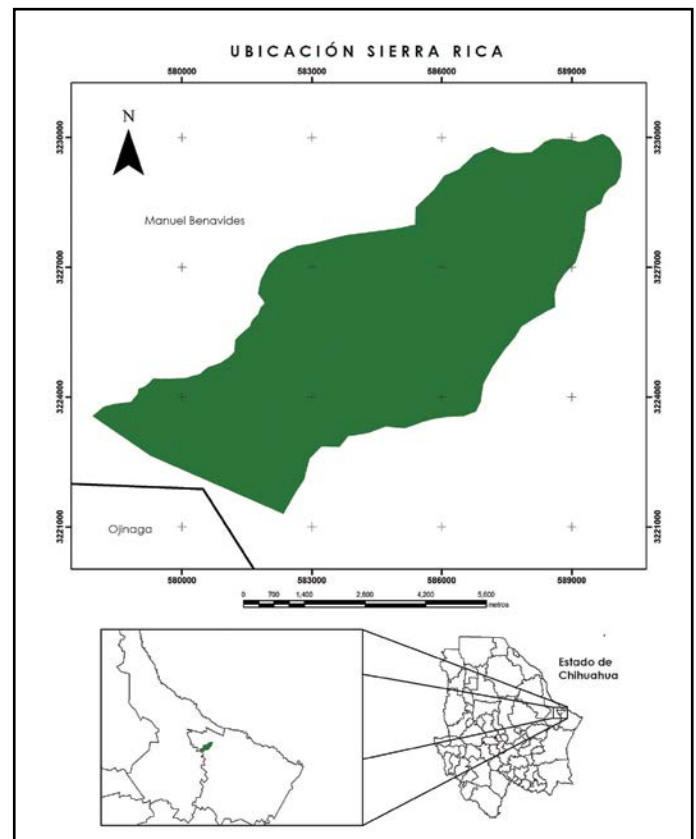


Figura 1. Ubicación de Sierra Rica, Manuel Benavides, Chihuahua, México. Elaboración propia.

Estas sierras se formaron cuando la planicie mexicana se elevó a través de erupciones volcánicas durante la Era Cenozoica (McClaran y Van Devender, 1995). A este acontecimiento tectónico se le conoce como farallón. Esta actividad generó el choque de las placas de Norteamérica (continental) y la del Pacífico Oriental (oceánica) bajo el continente, lo levantó y originó un intenso vulcanismo (SEMARNAT, 2013).

De manera subsecuente a las fallas tectónicas en el DC se formaron pequeñas islas de montaña. Graham (1999) indica que el origen de las sierras del oeste de Norteamérica fue a través de vulcanismo. Sin embargo, para el este del estado de Chihuahua, SEMARNAP (1997) describe Sierra Rica como una caldera volcánica que se originó en eventos geológicos de la Era Cenozoica.

Factores abióticos determinantes en la distribución de la vegetación

Clima. En eras geológicas pasadas el DC presentó un clima frío y húmedo con lluvias abundantes en invierno, la vegetación dominante eran árboles de los géneros *Pinus* y *Juniperus* (Metcalf et al., 2000). Sin embargo, los procesos geológicos y los periodos glaciales e interglaciales intervinieron en el cambio de las temperaturas, en la distribución de los organismos y en la formación de barreras fisiográficas en el país. Estas barreras actuaron de manera directa en la distribución de la humedad y temperatura, lo que da lugar a la aridez que caracteriza el DC (Rzedowski, 2006).

Las variables atmosféricas como temperatura, humedad y radiación solar delimitan la distribución de la vegetación de Sierra Rica, estos factores dan lugar a una variabilidad en la composición de especies de diferentes comunidades vegetales. Conforme aumenta la altitud la temperatura disminuye y genera un clima más templado que favorece especies de zonas características de estas regiones (Granados Sánchez et al., 2011).

Las condiciones climáticas tienen un fuerte dominio sobre la distribución geográfica en zonas de transición de bosque a pastizal (D'Odorico et al., 2013). Estas condiciones en conjunto con las características fisiográficas forman microclimas favorables para el establecimiento de diversas formas de vida e incluso para generar especies endémicas con distribución sumamente limitada (Luna Vega et al., 2007). En los cañones se presentan formas de vida distintas a las de mayor altitud, ya que existe mayor humedad debido a que la radiación solar directa es mínima,

lo que generó bosque de galería como el que está presente en el Cañón de los Fresnos en Sierra Rica, con especies como *Fraxinus velutina*, *Prunus serotina* y *Juglans microcarpa*.

La radiación solar se presenta como un factor que depende de la altitud, pendiente y exposición. Veera (2005) indica que la misma influye en la distribución de las plantas a través del control que ejerce en la evapotranspiración, así existen diferentes especies en las distintas exposiciones. Esta es una expresión de las diferencias en la evaporación causadas por la radiación solar (Burgess y Northington, 1977). La mezcla de elementos xéricos con elementos templados es característica de Sierra Rica. En exposición sur se observan especies como *Aloysia wrigthii*, *Fouquieria splendens* y *Yucca carnerosana* mezcladas con especies de clima templado como *Pinus remota*, *Prunus serotina* y *Cercocarpus montanus* (Figura 2).

Fisiografía. Las características topográficas, el substrato geológico y el suelo en las regiones áridas son determinantes en la distribución de la vegetación (Rzedowski, 2006). Con base en esto, la distribución de la vegetación de Sierra Rica está determinada principalmente por características fisiográficas debido a que es una zona montañosa de forma lenticular accidentada con un rango altitudinal desde 1,400 hasta 2,409 m.s.n.m., lo que representa un factor de mayor notoriedad y la composición florística cambia en un gradiente altitudinal. González Palma y Sosa Cerecedo (2003) afirman que en esta región el principal factor que determina las comunidades vegetales es la altitud. Poulos y Camp (2005) encontraron que hay una correlación entre la abundancia de árboles y los patrones de distribución con la elevación en Chisos Mountains, en Big Bend National Park, Texas.

La exposición intensifica o disminuye la influencia de otros factores, como la radiación solar y humedad (Good, 1974; Veera, 2005). En Sierra Rica este factor topográfico da lugar a un mosaico de especies que requieren mayor o menor humedad en el suelo. Walton et al. (2005) demostraron que la distribución de la vegetación en la topografía es determinada por la radiación solar.

La fisiografía accidentada de Sierra Rica presenta una serie de cañones y cañadas a diferente rango de altitud con características distintivas de topografía y flora. Los cañones principales son el Cañón de la Madera, Cañón de la Consolación



Figura 2. Diferencias de la fisonomía vegetal, exposición norte (izq.) y exposición sur (der.). Sitio ubicado al noreste de la sierra, en Sierra Rica, Manuel Benavides, Chihuahua, México. Fotografía tomada por Alicia Juárez Pérez.

y Cañón de los Fresnos. El Cañón de la Madera se ubica a una mayor elevación, desde los 1,700 hasta los 2,100 m.s.n.m. con especies adaptadas a climas más templados como *Cupressus arizonica* y *Juniperus deppeana*. El Cañón de la Consolación se ubica en un rango altitudinal desde los 1,500 hasta los 1,800 m.s.n.m., en donde la vegetación de las partes más bajas son arbóreas como *Salix babylonica* y *Juglans microcarpa*, mientras que el Cañón de los Fresnos presenta el mismo rango altitudinal, y diferentes especies como *Fraxinus americana*, *F. velutina* y *Prunus serotina*. Los tres cañones muestran diferentes especies establecidas a distintos rangos de altitud y humedad.

Edafología. El origen volcánico de Sierra Rica da lugar a suelos someros rocosos con diferentes minerales y texturas. Las características físicas y químicas de los suelos son indispensables para el establecimiento de las plantas. Medeiros y Drezner (2012) encontraron que el gradiente del pH del suelo determina la distribución de las especies *Ambrosia deltoidea*, *A. dumosa* y *Larrea tridentata*.

Los principales suelos de Sierra Rica son leptosoles, en los que la vegetación arbórea y de pastizal son comunes (SEMARNAT, 2013). Se presentan seis unidades edafológicas en el sitio: leptosol calcárico réndzico, leptosol eútrico lífico, leptosol calcárico lífico, leptosol eútrico esquelético y leptosol réndzico esquelético (INEGI, 2015). La unidad edafológica tipo eútrico se presenta como dominante en la zona y la tipo calcárico se presenta en dos áreas (Figura 3), en la parte suroeste y sureste con matorral desértico micrófilo y rosetófilo.

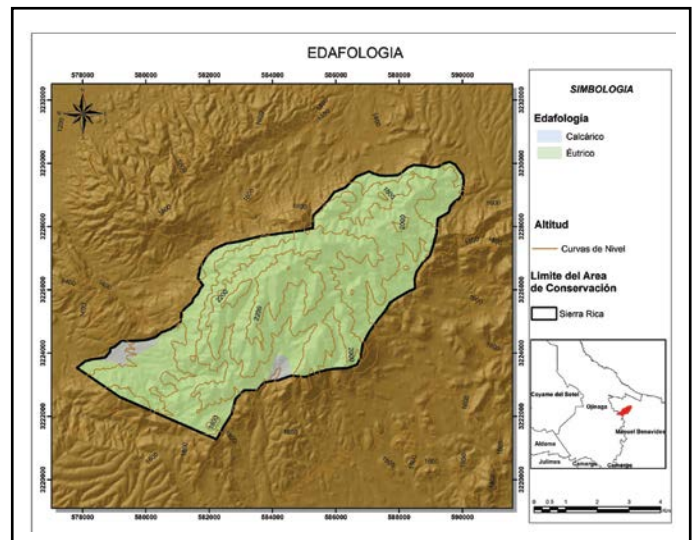


Figura 3. Mapa edafológico de Sierra Rica, Manuel Benavides, Chihuahua, México. Elaboración propia.

Factores bióticos determinantes en la distribución de la vegetación

Las comunidades vegetales en Sierra Rica presentan una heterogeneidad importante, la cual se debe principalmente a características fisiográficas y climáticas. Sin embargo, existen factores a menor escala que influyen en el establecimiento y distribución de estas comunidades vegetales. Estos factores son las interacciones bióticas, microorganismos del suelo, mecanismos de dispersión y factores evolutivos como flujo y deriva genéticos y presiones de selección.

Las especies actuales son producto de una multitud de factores evolutivos que actúan en conjunto o separados. Factores como la reproducción, filogenia,

flujo genético y factores de selección determinan la identidad de las especies (Good, 1974). Las diferentes formas de vida y adaptaciones que presentan las plantas son también el resultado del tiempo evolutivo y el clima; de esta forma, por ejemplo, la adaptación de las plantas a las altas temperaturas por medio de vellosidades en hojas y tallos son producto del proceso evolutivo de millones de años (Rzedowski, 2006).

Wisz et al. (2013) indican que las interacciones bióticas, la dinámica de las especies y su relación con el clima son predictores de la distribución actual y futura de las especies de flora y fauna. Una interacción que se presenta en Sierra Rica, en zonas bajas de matorral desértico y exposiciones de orientación sur, son las plantas nodrizas. Estas trabajan como protectoras de otra especie, esta asociación se observa principalmente en cactáceas (Figura 4).

Otra interacción importante es la existencia del mutualismo entre las micorrizas arbusculares y la flora. Estas existen en todo tipo de ambientes y benefician a la vegetación en el establecimiento y desarrollo de la misma (González et al., 2007); incluso las vuelve más resistentes al estrés hídrico (Al Whaibi, 2009). Las especies perennes cuentan con esta interacción en mayor proporción que las especies anuales, debido a tamaños radiculares y períodos de vida (Collier et al., 2003).

Las plantas utilizan como mecanismos de dispersión las semillas y la reproducción vegetativa. Las semillas son transportadas por medio del viento, el agua y el consumo de estas por los animales. Los mamíferos y las aves emplean mecanismos directos e indirectos para su transporte. Burgess (1995) menciona que los herbívoros son un factor que acelera los cambios en la vegetación y favorecen la variabilidad en las formas de crecimiento que eventualmente generarán poblaciones mejor adaptadas. Los roedores (ratas y ratones), lagomorfos (conejos y liebres) y aves promueven el incremento en la densidad y riqueza del matorral (Whitford y Bestelmeyer, 2006). El jabalí de collar (*Pecari tajacu*) se alimenta de frutos rojos, granos de gramíneas e insectos, y consume *Celtis pallida*, *Rhus trilobata* y *R. virens*. El venado bura (*Odocoileus hemionus*) consume los frutos de *Echinocereus* spp., ampliamente distribuidos en la zona.

Diferentes especies de murciélago del DC, como el murciélago trompudo (*Choeronycteris mexicana*) y el murciélago maguero menor (*Leptonycteris*



Figura 4. Agave lechuguilla como nodriza de *Mammillaria heyderi* en Sierra Rica, Manuel Benavides, Chihuahua, México. Fotografía tomada por Alicia Juárez Pérez.

verbabuena) han desarrollado una relación de tipo coevolutiva con agaves y cactáceas. Esta interacción se debe a que el murciélago acude a alimentarse a estas plantas y al introducir el hocico y la lengua en la flor se impregna de polen, de esta forma lo dispersa y contribuye a la variabilidad fenética y genética de la planta. Entre los invertebrados, una especie de catarina (*Hippodamia convergens*) se presentó en cantidades abundantes durante el mes de septiembre, a una altura de 2,409 m.s.n.m. Este insecto es un controlador de plagas natural, se alimenta de áfidos y otros insectos (Marriott, 2012). Esta especie pudiera tener un efecto positivo en la vegetación anual, al protegerla de plagas y usarla como hospedera durante la época de reproducción. En campo, esta especie se observó especialmente sobre plantas anuales.

Otras plantas han desarrollado una reproducción vegetativa como opción para su distribución y reproducción. Tal es el caso de especies de cactáceas como *Echinocereus stramineus*, *Opuntia imbricata* y *O. leptocaulis*, que forman colonias. La gramínea *Bouteloua eriopoda* con su reproducción

por estolones puede formar manchones. Un comportamiento similar lo presenta otra gramínea introducida en el área: *Cynodon dactylon*.

Origen y distribución de las comunidades vegetales

A través de millones de años se han presentado diferentes fenómenos como el cambio cíclico en las temperaturas y las fallas tectónicas que moldearon los continentes e iniciaron la formación de las distintas comunidades vegetales. En Sierra Rica se distinguen cinco tipos de vegetación principales, como bosque de pino, bosque de encino, pastizal, matorral desértico micrófilo y matorral desértico rosetófilo.

Bosque de pino. El género *Pinus* es dominante en este tipo de vegetación, del cual se tienen datos de su origen en el periodo Jurásico de la Era Mesozoica (199.6 Ma) en el hemisferio norte (Styles, 1998). La migración de este género hacia el sur comenzó debido a la expansión de las temperaturas frías o templadas generadas por los cambios climáticos y por la fluctuación de las barreras físicas, lo que provocó que llegara a México en el Cenozoico medio (Miller, 1977). Durante el Pleistoceno tardío el bosque de pino dominó el norte del DC con especies de pino piñonero (*Pinus* spp.), juníperos (*Juniperus* spp.) y encinos (*Quercus* spp.) (Lanner y Devender, 1981). Sin embargo, los cambios climáticos y geográficos a través del tiempo fueron fragmentando esta comunidad vegetal hasta quedar como parches en el desierto situados en las islas del cielo. Una característica distintiva en este tipo de vegetación en Sierra Rica es la composición mixta de *Yucca* spp., con *Pinus remota*. Existe evidencia de que desde la última glaciación del Pleistoceno estas especies han compartido el mismo espacio, incluso en terrenos más bajos; ahora esta composición se observa en zonas más altas que en el pasado (Wells, 1977).

Bosque de encino. Este tipo de vegetación frecuentemente se asocia al bosque de pino. Sin embargo, hay zonas muy específicas donde este domina en su totalidad. Las evidencias fósiles más antiguas que se tienen del género *Quercus* datan del Eoceno (55.8 Ma) en el norte de Estados Unidos (Manchester, 1983), pero en Texas se encontraron evidencias de hojas de *Quercus* en la era Cenozoica, periodo Oligoceno (33.9 Ma) con características similares a las especies modernas (Nixon, 1998). Esto sugiere que su origen puede remontarse a épocas anteriores a las que se cree. En el DC están generalmente restringidos a montañas y particularmente a cañones húmedos y laderas de

exposición norte y noreste. En Sierra Rica existen cuatro especies: *Quercus grisea*, *Q. vaseyana*, *Q. pungens* y *Q. oblongifolia*. Se encontraron macrofósiles en áreas bajas de *Q. grisea* y *Q. pungens* en Big Bend National Park, que datan de la última era glacial (11,500 años), a 241 km al este, lo que sugiere una amplia distribución de estas especies (Wells, 1977; Van Devender 1995).

Pastizal. En el DC, el pastizal se compone de diversos elementos de gramíneas, arbustos y suculentas. La primer comunidad de gramíneas dominantes apareció durante la Era Cenozoica, en el terciario temprano de manera estacional (Van Devender, 1995). Durante el Mioceno ocurrió el levantamiento de cadenas montañosas y las masas de aire del Pacífico fueron bloqueadas por las montañas, creando las condiciones para el desarrollo de las gramíneas en las grandes planicies de Norteamérica (McClaran y Van Devender, 1995). Con estos cambios la vegetación presentó modificaciones y una mayor diversidad de especies, que provocó su expansión hasta las planicies mexicanas.

Matorral. Van Devender (1995) sugiere que el matorral desértico se formó hace 8,980 años. Sin embargo, hay datos sobre especies cuya antigüedad es mayor, como el género *Dasyllirion*, del cual se tienen pruebas de su presencia en la última glaciación hace 10,400 años, así como del género *Prosopis*, hace 21,300 años. Ambas especies son componentes comunes en matorrales y pastizales.

Conforme se fueron estableciendo las especies arbustivas en los pastizales, más especies llegaban de diversos puntos, como es el caso de *Larrea tridentata*. Esta especie se expandió a México desde Sudamérica durante el Cuaternario, así como otras especies de los géneros *Condalia*, *Fagonia*, *Hoffmannseggia*, *Lycium*, *Menodora*, *Nicotiana*, *Prosopis*, *Sellaginella* y *Ziziphus* (Rzedowski, 2006).

CONCLUSIONES

En Sierra Rica los factores dominantes en el establecimiento de la flora actual son la fisiografía y el clima. Sierra Rica presenta características que a través de millones de años han formado la heterogeneidad de la vegetación actual. Por su origen volcánico, las especies que iniciaron la colonización fueron *Pinus* y *Quercus*. Sin embargo, los acontecimientos tectónicos y climáticos dieron forma al establecimiento de más especies y se redujo la distribución de las especies pioneras.

Las formaciones físicas crean las condiciones de microclima ideales para el establecimiento de flora única (especies endémicas), como el caso de *Cupressus arizonica*, que solo se ubica en el Cañón de la Madera a una elevación desde 1,800 hasta 2,000 m.s.n.m. Los factores que dan lugar a los tipos de vegetación y su distribución trabajan entre sí, la exposición depende de la radiación solar y la altura para el establecimiento de especies como *Dasyllirion leiophyllum*, *Fouquieria splendens* y *Castilleja indivisa*.

El establecimiento de los tipos de vegetación presentes en la zona fue a través de diferentes épocas y sucesos y obedece a factores de tipo ecológico e histórico. Las islas del cielo como Sierra Rica por definición son áreas separadas de otras similares y se considera que han actuado como refugio para múltiples especies (periodos glaciales e interglaciales), que a través del tiempo se han diferenciado de sus

poblaciones origen (especiación) y han generado especies endémicas.

En Sierra Rica, al igual que en gran parte del territorio mexicano, la composición y diversidad de especies vegetales y animales está determinada en primer término por la mezcla de elementos provenientes de las dos regiones biogeográficas del continente (la Neártica y la Neotropical) y por un elemento endémico, que se ha desarrollado debido a las condiciones fisiográficas y a las fluctuaciones climáticas del Pleistoceno.

En la actualidad los cambios en la estructura y distribución de la vegetación continúan. Sin embargo, existen amenazas antropogénicas que modifican esta estructura, como el sobrepastoreo y la introducción de especies exóticas, como *Melinis repens*, *Cynodon dactylon* y *Salsola iberica*.

LITERATURA CITADA

- AL WHAIBI, M. H. Desert plants and Mycorrhizae (A mini-review). *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 3(2): 457-466, 2009.
- BURGESS, T. L. Desert grassland, mixed shrub savanna, shrub steppe, or semidesert scrub? The dilemma of coexisting growth forms. En M. P. McCLARAN y T. R. VAN DEVENDER (Eds.), *The Desert Grassland* (31-67). Arizona: University of Arizona Press, 1995.
- BURGESS, T. L. y NORTHINGTON, D. K. Desert vegetation in the Guadalupe Mountains region. En R. H. WAUER y D. H. RISKIND (Eds.), *Transactions of the Symposium on the Biological Resources of the Chihuahuan Desert Region* (229-242). Washington, US: US Department of the Interior, National Park Service, 1977.
- CEVALLOS FERRIZ, S. R. S. et al. Perspectiva paleobotánica y geológica de la biodiversidad en México. *Acta Botánica Mexicana*, 100, 317-350, 2012.
- COLLIER, S. C. et al. Mycorrhizal dependency of chihuahuan desert plants is influenced by life strategy and root morphology. *Journal of Arid Environments*, 55(2): 223-229, 2003.
- CONABIO (COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD). *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de estado*. D. F., México: Autor, 2014.
- COTECOCA (COMISIÓN TÉCNICO CONSULTIVA PARA LA DETERMINACIÓN REGIONAL DE LOS COEFICIENTES DE AGOSTADERO). *Estudio para el Estado de Chihuahua*. D. F., México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1978.
- COX, C. B. y MOORE, P. D. *Biogeography, an ecological and evolutionary approach*. 5 ed. Londres, Gran Bretaña: Blackwell Scientific Publications, 336 pp., 1993.
- D'ODORICO, P. et al. Vegetation-microclimate feedbacks in woodland-grassland ecotones. *Global Ecology and Biogeography*, 22(4): 364-379, 2013.
- GARCÍA, E. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. D. F., México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2004.
- GONZÁLEZ CHÁVEZ, M. C. et al. Biodiversidad funcional de los hongos micorrízicos arbusculares en zonas áridas y semiáridas. En N. M. MONTAÑO ARIAS et al. (Eds.), *Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos* (37-62). D. F., México: Instituto Nacional de Ecología/SEMARNAT-Mundi-Prensa, S. A. de C. V.-UAM Iztapalapa-FES Zaragoza-UNAM, 2007.
- GONZÁLEZ, PALMA, A. y SOSA CERECEDO, M. Análisis de la vegetación del área de protección de flora y fauna Cañón de Santa Elena (desierto chihuahuense) utilizando Modelos Digitales de Elevación. *Ecosistemas*, 12(2): 1-6, 2003.
- GOOD, R. *The geography of the flowering plants*. 4 ed. United Kingdom: Longman Group, 403 pp., 1974.
- GRAHAM, A. *Late Cretaceous and Cenozoic History of North American vegetation. North of Mexico*. New York, US: Oxford University Press, 350 pp., 1999.
- GRANADOS SÁNCHEZ, D. et al. Ecología de la vegetación del desierto chihuahuense. *Rchscfa (Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente)*, XVII, 111-130, 2011.

- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa*. México: Autor, 744 pp., 2013.
 - LANNER, M. R. y VAN DEVENDER, T. R. Late Pleistocene pines in the chihuahuan desert. *Quaternary Research*, 15(3): 278-290, 1981.
 - LOMOLINO, M. V. et al. *Biogeography*. 4 ed. Sinauer Associates Inc., 764 pp., 2010.
 - LUNA VEGA, I. et al. (Eds.), *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. D. F., México: Comisión Nacional para la Biodiversidad-Universidad Nacional Autónoma de México, 2007.
 - MANCHESTER, S. R. Eocene fruits, wood and leaves of the Fagaceae from the clarno formation of Oregon. *American Journal of Botany*, 70(5 PART 2): 70-74, 1983.
 - MARRIOTT, S. M. *Assessing Geographic Distribution and Relative Abundance Patterns of Native and Non-Native Lady Beetles (Coccinellinae) from Historic Occurrence Data*. Tesis de Maestría. Canada: Facultad de Ciencias, Universidad de Prince Edward Island, 2012.
 - McCLARAN, M. P. y VAN DEVENDER, T. R. *The Desert Grassland*. Tucson, Arizona, US: University of Arizona Press, 346 pp., 1995.
 - McCORMACK, J. E. et al. Sky islands. En R. G. GILLESPIE y D. CLAGUE (Eds.), *Encyclopedia of Islands* (838-843). Berkeley, California: University of California Press, 2009.
 - MEDEIROS, A. S. y DREZNER, T. D. Vegetation, climate, and soil relationships across the sonoran desert. *Ecoscience*, 19(2): 148-160, 2012.
 - METCALFE, S. E. et al. Records of Late Pleistocene-Holeocene climatic change in Mexico—a review. *Quaternary Science Reviews*, 19(7): 699-721, 2000.
 - MILLER, C. N. Mesozoic conifers. *The Botanical Review*, 43, 217-280, 1977.
 - MONGE NÁJERA, J. Ecological biogeography: a review with emphasis on conservation and the neutral model. *Gayana*, 72(1): 102-112, 2008.
 - NIXON, K. C. El género *Quercus* en México. En T. P. RAMAMOORTHY et al. (Comps.), *Diversidad Biológica de México. Orígenes y distribución* (447-458). D. F., México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1998.
 - POULOS, M. H. y CAMP, A. E. Vegetation-environment relations of the Chisos Mountains, Big Bend National Park, Texas. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-36*, 539-544, 2005.
 - SÁNCHEZ GONZÁLEZ, A. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14(1): 107-120, 2008.
 - SEMARNAP (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA). *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena*. D. F., México: Instituto Nacional de Ecología, 134 pp., 1997.
 - SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). *Atlas de Medio Físico Biótico y Ambiental del Estado de Chihuahua*. D. F., México: Autor, 2012.
 - SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES)-CONANP (COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS). *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena*. D. F., México: CONANP, 153 pp., 2013.
 - STYLES, T. B. El género *Pinus*: su panorama en México. En T. P. RAMAMOORTHY et al. (Eds.), *Diversidad biológica de México, orígenes y distribución* (397-420). D. F., México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1998.
 - VAN DEVENDER, T. R. Desert Grassland History. En M. P. McCLARAN y T. R. VAN DEVENDER (Eds.), *The Desert Grassland*. Tucson, AZ, US: University of Arizona Press, 1995.
 - VEERA, V. M. *Hydrology and Solar Radiation as Factors for desert Vegetation Patterns*. Tesis de Maestría. El Paso, TX, US: Universidad de Texas, 2005.
 - WALTON, J. C. et al. Desert vegetation and timing of solar radiation. *Journal of Arid Environments*, 60(4): 697-707, 2005.
 - WELLS, P. V. Post-glacial origin of the present Chihuahuan Desert less than 11,500 years ago. En R. H. WAUER y D. H. RISKIND (Eds.), *Transactions of the Symposium on the Biological Resources of the Chihuahuan Desert Region, United States and Mexico* (67-83). Alpine, TX, US: Sul Ross State University, 1977.
 - WHITFORD, W. G. y BESTELMEYER, B. Chihuahuan desert fauna: effects on ecosystem properties and processes. En F. M. HAVSTAD et al. (Eds.), *Structure and Function of a Chihuahuan Desert Ecosystem: The Jornada Basin Long-Term Ecological Research Site* (247-265). New York, NY, US: Oxford University Press, 2006.
 - WISZ, M. S. et al. The role of biotic interactions in shaping distributions and realized assemblages of species: implications for species distribution modelling. *Biological Reviews*, 88(1): 15-30, 2013.
- De página electrónicas**
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA). *Edafología, Conjunto de Datos vectorial Edafológico escala 1:250 000 Serie II (Continuo Nacional)*. Recuperado el 2 de marzo de 2015, de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recreat/edafologia/vectorial_serieii.aspx
 - RZEDOWSKI, J. *Vegetación de México*. Edición digital. D. F., México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2006. Recuperado de <http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxPort.pdf>

Energías renovables y el hidrógeno: un par prometedor en la transición energética de México

Renewable energies and hydrogen: a promising couple in the energy transition of Mexico

Alejandra Cecilia Morales Ramos¹, Marisela Pérez Figueroa²,
Jorge Raúl Pérez Gallardo^{3*}, Sofía De León Almaraz⁴

Morales Ramos, A. C., Pérez Figueroa, M., Pérez Gallardo, J. R., De León Almaraz, S. Energías renovables y el hidrógeno: un par prometedor en la transición energética de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 92-101, enero-abril 2017.

RESUMEN

Existen numerosas razones para considerar seriamente el uso de energías renovables (ER) en el portafolio de recursos utilizados en México: seguridad e independencia energética, reglamentación y compromisos ambientales, aprovechamiento de recursos nacionales, entre otros. México debe replantear su dependencia por combustibles fósiles como petróleo y gas natural en su transición energética. El hidrógeno es una opción que está siendo analizada por la comunidad científica internacional para acoplarse a las ER, ya que es un portador de energía que ofrece una solución a la intermitencia de las ER y puede servir para almacenar la energía. El hidrógeno ofrece grandes ventajas ambientales en su uso, y resulta una opción muy prometedora. Este estudio tiene como objetivo identificar el potencial que tienen las ER en México al ser utilizadas eficientemente para almacenar la energía por medio del hidrógeno. Se identifican el tipo, ubicación, capacidad y costo de las principales ER en México. Asimismo, se establece un escenario prospectivo de capacidad de almacenamiento mediante el acoplamiento de las ER-H₂ para cuatro

Palabras clave: energía renovable, hidrógeno, ambiente, prospectivas, vector energético.

Keywords: renewable energy, hydrogen, environment, prospective, energy carrier.

Recibido: 7 de abril de 2016, aceptado: 20 de octubre de 2016

¹ Instituto Tecnológico Superior de Apatztingán, México.

² Instituto Tecnológico Superior de Los Ríos, México.

³ Centro de Investigación en Matemáticas, A.C. (CIMAT-Conacyt) unidad Aguascalientes, México.

⁴ Laboratorio de Ingeniería Química, Universidad de Toulouse, Francia.

* Autor para correspondencia: raul.perez@icimat.mx

periodos de tiempo (2015, 2020, 2025 y 2029). Las estimaciones muestran una capacidad de almacenamiento de hasta 71,135 GWh/año por medio del hidrógeno al año 2029. Los resultados de esta investigación servirán como referencia para realizar estudios más detallados para el diseño de cadenas de suministro para ER-H₂.

ABSTRACT

There are many reasons to consider the use of renewable energies (RES) in the Mexican resources portfolio: energy security and autonomy, regulatory and environmental commitments, utilization of national resources, etc. Mexico must rethink its dependence on fossil fuels, such as oil and natural gas in their energy transition. Hydrogen is an option that is being considered by the international scientific community to be coupled to the RES because it is an energy carrier that offers a solution to the intermittency and can be used to store energy. Hydrogen provides significant environmental advantages in their use. This study aims to identify the potential of RES in Mexico to be used efficiently to store energy through hydrogen. First, the type, location, capacity and cost of major RES in Mexico are identified. With the above scenario a prospective storage capacity is calculated by coupling the RES-H₂ for four time periods (2015, 2020, 2025 and 2029). The results show a storage capacity of up to 71,135 GWh/year in 2029 through hydrogen. The results of this research will serve as a reference for more detailed design studies for supply chains to ERs-H₂.

INTRODUCCIÓN

En la última década el interés por el uso eficiente de recursos y energía ha cobrado una gran relevancia.

Existen presiones de orden nacional e internacional para poder desarrollar una economía sostenible que garantice el aseguramiento energético, el crecimiento económico y el cuidado al medio ambiente (Bhattacharya et al., 2016; Scholten y Bosman, 2016). A pesar de las tensiones por los combustibles fósiles y la creciente volatilidad de los precios del petróleo (Buyuksahin, 2012; Salameh, 2014; Kottasova, 2015), las energías fósiles seguirán siendo la base del desarrollo económico mundial. Sin embargo, se espera que durante las siguientes décadas las fuentes renovables adquieran mayor relevancia, y se conviertan en un elemento esencial para el desarrollo y bienestar futuros de la humanidad (International Energy Agency, 2014, 2015; Bhattacharya et al., 2016).

Además, hay una exigencia mayor de contar con herramientas de planeación indicativa, que coadyuve en la toma de decisiones en el mercado energético y permita evaluar con mayor precisión la disponibilidad y demanda de las distintas fuentes energéticas en el mediano plazo, lo que brinda certeza sobre los proyectos de infraestructura, así como elementos para la inversión por parte del sector privado (SENER, 2015b).

El presente trabajo tuvo como objetivo indagar el potencial que tendría el uso de energías renovables (ER) en nuestro país al maximizar su eficiencia e incrementar su penetración mediante el uso del H₂ como vector energético para su almacenamiento y posterior utilización. En primer lugar, se ofrece un panorama general sobre el estado actual del sector energético nacional, así como de las distintas formas de generación energética mediante fuentes renovables. El propósito es determinar los principales tipos de ER existentes en el país, la capacidad instalada, la ubicación de las plantas generadoras y los costos de instalación para cada fuente de energía. A partir de la información recabada se estima el potencial de almacenamiento de energía mediante la producción de H₂ a partir de ER siguiendo la metodología propuesta en la tesis de De León Almaraz (2014). Finalmente, se ofrece un panorama hasta el año 2029 del posible crecimiento de este sector y la importancia del uso del H₂ como vector energético.

Contexto energético mexicano

La dependencia nacional al petróleo, el incremento de la demanda energética nacional, así como la incapacidad del Estado para invertir en obra

tendiente a incrementar la capacidad existente ha constituido un problema muy serio para el país (Cadet, 2003).

En la década de los ochenta, el petróleo llegó a representar casi 65% del valor total de las exportaciones, mientras que en 2000 su participación disminuyó a 8.9% (CEFP, 2001). Hasta 2013, todos los procesos relacionados al manejo de hidrocarburos y electricidad estaban centralizados en Petróleos Mexicanos (PEMEX), Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Luz y Fuerza del Centro (LFC).

A fines de 2013 se decidió implementar un nuevo modelo de contratación en la exploración y extracción de hidrocarburos al reformar la legislación vigente. Dicho modelo permite la inversión privada y la competencia en actividades de transporte y transformación industrial de hidrocarburos (SENER, 2015b). La reforma intenta cumplir con los compromisos ambientales que México ha suscrito.

Compromisos ambientales y acuerdos internacionales.

En 2007, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change*) presentó un reporte alarmante en el que se concluyó que al ritmo de crecimiento actual la temperatura del planeta aumentaría 6 °C para el fin de siglo XXI (IPCC Core Writing Team et al., 2007). En 2009, la Agencia Internacional de Energía presentó diversos escenarios y estrategias de mitigación por país con el fin de limitar el aumento de la temperatura a 2 °C en el año 2100 (International Energy Agency, 2009). Las recomendaciones hechas para México son establecer un mecanismo de mercado para incentivar la reducción de emisiones de CO₂ al mínimo costo (sistema *cap-and-trade*) para los sectores de energía e industria, adoptar acuerdos internacionales para industria y transporte, y aplicar políticas nacionales de disminución de contaminantes (Energía y Sociedad, 2014).

En 2015, la Conferencia de la ONU sobre Cambio Climático (COP 21) en París buscó impulsar un ambicioso acuerdo internacional para una nueva era de desarrollo sostenible (United Nations, 2015). En la COP 21 el presidente Enrique Peña Nieto destacó la aprobación del impuesto al carbono para aquellos combustibles fósiles con emisiones superiores a las del gas natural, y el avance en la creación del mercado de carbono, enmarcados en la reforma energética recién aprobada. Asimismo, resaltó la meta impuesta

de reducir para el año 2030 en 22% las emisiones de gases de efecto invernadero y en 51% las de carbono negro a nivel nacional (México News Network, 2015).

En la cumbre de líderes de América del Norte 2016, los presidentes de México, Canadá y Estados Unidos se comprometieron a alcanzar 50% de generación de electricidad limpia en 2025 (Presidencia de la República, 2016). Hablar de energía *limpia* no es sinónimo de energía renovable sino de la sustitución de algunas fuentes de energía por otras menos contaminantes; por ejemplo, pasar del uso de carbón al del gas natural para la producción de electricidad. Lo anterior hace más lenta la transición hacia el uso de ER. Este panorama internacional vuelve necesaria una acelerada transición hacia energías no solo más limpias sino renovables en el balance energético nacional si se analizan los principales puntos de consumo y los usos de energía en México.

Situación actual. En el informe *Participación de las Energías Renovables en la Generación de Electricidad en México 2014* (SENER, 2015a) se establecieron metas de capacidad y generación de energía. La Secretaría de Energía (SENER) y el congreso han fijado una participación máxima de 65% de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica para el año 2024, de 60% en 2035 y de 50% en 2050 (SEGOB, 2008).

En años recientes, el gobierno promueve el uso de gas natural (GN) como una fuente alternativa de energía mediante inversiones en plantas de ciclo combinado y gasoductos (CEFP, 2001). El GN es el combustible de menor precio en el mercado y se ha constituido como un combustible de transición fundamental para el país (SENER, 2015b) debido a su bajo precio en ciertas regiones, mejores eficiencias en centrales de generación eléctrica y las ventajas en cuanto a emisiones en comparación con otros tipos de combustibles fósiles (CEFP, 2001; SENER, 2015b, 2015c). A pesar de que México es productor de GN, surge una alerta debido al considerable incremento en las importaciones de este producto (Cadet, 2003). Si bien el GN es una fuente más limpia para la atmósfera, al ser no renovable, puede ser superado en beneficios ambientales por otras fuentes de energía.

La SENER, con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE), promueven el uso de energías limpias con una

participación superior a 35% para el año 2024 y a 43% para 2030. Ante esto, México necesita un sector energético diversificado, en el que una canasta de fuentes de ER distintas sea un componente esencial para alcanzar la seguridad energética, mejorar la competitividad presente y lograr los ambiciosos objetivos ambientales que se ha planteado.

Acerca de la demanda energética, se encuentra que en 2013 el *Balance Nacional de Energía* (SENER, 2014a) indicó que el sector transporte consume 44.1% de la energía generada, seguido de la industria con 31.4% y 17.7% por los fragmentos residencial, comercial y público. El consumo energético por tipo de combustible muestra al uso de gasolina en primer lugar (29.8%), seguido por la electricidad (17.1%) y el diésel (16.0%). La suma de gasolina y diésel resulta en 45.8% del consumo total, lo que demuestra la gran dependencia a los derivados del petróleo y alerta sobre las emisiones generadas por el uso de este tipo de carburantes en los vehículos de combustión interna. Entre el período comprendido desde 2004 hasta 2014 se incrementó el consumo nacional de energía eléctrica a una tasa promedio de 2.9% anual, para ubicarse en 244,673 GWh en 2014 (SENER, 2015d).

H₂ como vector energético

El hidrógeno (H₂) es un vector energético que tiene grandes ventajas ambientales. Su característica principal es que, aunque no es en sí una fuente energética, puede tener diferentes orígenes, tanto renovables como no renovables. Es un combustible limpio, cuando se quema con aire las emisiones que produce son no contaminantes. Además de la combustión directa, se ha empezado a desarrollar una tecnología basada en pilas de combustibles en las que se transforma la energía química en energía eléctrica y vapor de agua.

De forma natural el hidrógeno se encuentra en cantidades mínimas, por ello se deben realizar ciertas transformaciones térmicas, químicas o electroquímicas para obtenerlo. Los métodos más comunes son el reformado de gas natural, la gasificación del carbón o de biomasa y la electrólisis de agua. De ellos, la electrólisis del agua resulta ser un proceso limpio si la energía necesaria para realizar el proceso es suministrada vía ER (ARIEMA, 2003a). El mayor porcentaje de la producción de H₂ en México es obtenido por reformación catalítica de hidrocarburos, procesos electrolíticos y métodos en los que se genera hidrógeno como producto

secundario de otros procesos químicos (Galarza, 2008).

En el mundo existen iniciativas que toman al H₂ como vector clave en la transición energética y de movilidad (Air liquide, 2008; Scandinavian Hydrogen Highway Partnership, 2011; NOW, 2012). Muchas de estas iniciativas ya se encuentran operando.

El hidrógeno coadyuva de forma importante a resolver los problemas de almacenamiento y transporte de energía que en el futuro provocará el uso masivo de ER. Durante el periodo de transición energética permitirá un uso más eficiente y menos contaminante de los combustibles fósiles; sin embargo, existen factores económicos y de seguridad pendientes por resolver para una utilización rentable del hidrógeno, ya que es difícil justificar el uso del hidrógeno exclusivamente desde una perspectiva de política climática. El principal problema que enfrenta es que debe ser producido por medio de otra fuente energética debido a que sólo puede encontrarse en forma de compuesto sobre la Tierra. Por tanto, sus ventajas ambientales dependerán de cómo es producido. Si se elabora a partir de fuentes fósiles, aumenta la seguridad del suministro, pero hace que las emisiones de CO₂ sean elevadas (a menos que el CO₂ sea capturado y almacenado). Si es creado mediante combustibles no fósiles (nuclear o renovable), se reducen las emisiones de CO₂ pero el suministro estará condicionado por la cantidad de recurso no fósil disponible y que no sea empleado para la generación de electricidad (Ball and Wietschel, 2009).

Las energías renovables (ER) y el hidrógeno (H₂). La transición hacia el uso de ER en el futuro parece inevitable; sin embargo, con el uso de las mismas también surgen problemas asociados a la intermitencia (Fernández Ordóñez, 2010). Este tipo de energías presentan una gran dependencia climatológica y, por tanto, una alta variabilidad. Para superar esta barrera se puede almacenar la energía por medio de baterías o del uso del hidrógeno como vector energético. La capacidad limitada de las baterías hace al hidrógeno una opción muy prometedora para acoplarse al uso de las ER, a pesar de la existencia de una pérdida de energía por el almacenamiento y reúso.

El H₂, al ser un vector energético, también puede ser utilizado en celdas de combustible (pilas de combustible) para producir electricidad.

Recientemente el H₂ ha sido utilizado como fuente alterna de energía para vehículos debido a su alto rendimiento y a que no genera contaminantes durante su uso en el auto. El auto de hidrógeno podría disminuir de manera muy considerable las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Muchas compañías automotrices ya comercializan modelos impulsados por H₂ (Finnerty, 2016). Por otro lado, el H₂ está siendo objeto de estudio para ser utilizado como batería de los teléfonos inteligentes, pero se encuentra en fase de prueba (ARIEMA, 2003b; Cabezas et al., 2014).

Inventario de las ER en México

Las fuentes renovables son aquellas que tras ser utilizadas se pueden regenerar de forma natural o artificial en una escala de tiempo humana (SE, 2013; SENER, 2014d). El desarrollo de las ER ha sido muy lento, ya que las políticas de diversificación energética encaminadas a promoverlas no han ocupado un lugar prioritario en la planeación nacional. El desarrollo de las fuentes alternas de energía en México se destina casi en su totalidad a la generación de electricidad, utilizadas principalmente en proyectos de energización rural para satisfacer los requerimientos energéticos de comunidades aisladas y dispersas, donde la integración de la red eléctrica nacional resulta muy costosa o es prácticamente imposible (CEFP, 2001). Huacuz (2005) plantea las oportunidades que se tienen como país por el uso de ER dentro del balance energético nacional, y al mismo tiempo realiza un análisis crítico de las barreras que dificultan su explotación plena, muchas de las cuales lamentablemente aún siguen vigentes.

El país cuenta con una amplia diversidad de recursos renovables para la generación de energía, que en algunos casos es considerablemente más abundante en comparación con países con una trayectoria amplia en la explotación de estos recursos. Sin embargo, los mismos se encuentran muy dispersos en el territorio nacional. Adicionalmente, se tienen restricciones que dificultan su explotación como las características orográficas del país, la falta de infraestructura o el estatus de la región de interés en el ordenamiento territorial.

Al cierre del año 2014, la capacidad de generación vía fuentes renovables alcanzó los 16,240 MW, 25% de la capacidad de generación total. Para ese mismo año, la energía eléctrica generada vía fuentes renovables llegó a 55,003 GWh, equivalente a 18% del total generado (SENER, 2015a). La energía

hidráulica, eólica y geotérmica, en ese orden, fueron las tres fuentes que más aportaron con 90% de la capacidad generada. A continuación se presentan brevemente los resultados por fuente de energía obtenidos de la investigación documental realizada. Para esto se consultaron documentos oficiales publicados por la SENER, la CRE y la CFE, así como trabajos de investigación científicos (Alemán Nava et al., 2014; Vidal Amaro et al., 2015).

Energía solar. La localización geográfica de México resulta ideal para el aprovechamiento de la energía solar con una radiación diaria que excede los 5 kWh/m² y llega a los 8.5 kWh/m² en ciertas regiones. Estados del noroeste y norte (Sonora, Chihuahua y Baja California) presentan la mayor insolación. La energía solar puede transformarse directamente en electricidad (fotovoltaica) o calor (termosolar). El calor, a su vez, puede ser utilizado directamente para producir vapor y generar electricidad. A pesar del gran potencial de energía solar existente en el país, aún no ha sido explotado para la producción de energía eléctrica a gran escala. En este sentido, el país cuenta con 9 centrales fotovoltaicas en operación, de las cuales 7 pertenecen al sector privado y 2 a la CFE. En conjunto, la capacidad instalada es de 66,204 MW y la generación de energía es de apenas 84.13 GWh (SENER, 2013a). Se calcula que el potencial de generación de energía por esta fuente es de 6,500,000 GWh por año (PROMEXICO, 2014).

Energía eólica. La energía cinética del viento es transformada en energía mecánica mediante turbinas eólicas o aerogeneradores, que a su vez impulsan un generador eléctrico. Para 2012 se estimaba el potencial eólico del país en 71,000 MW, aunque solo se explotaba 1.7% (Alemán Nava et al., 2014). En México se tienen 26 centrales eólicas, de las cuales solo tres son operadas por la CFE. Las regiones con mejor potencial se ubican en el Istmo de Tehuantepec y en el norte de la península de Baja California. En conjunto, las centrales eólicas suman una capacidad instalada de 2,036.85 MW y una generación de energía de 6,086.28 GWh (SENER, 2013a).

Energía hidráulica. Se basa en aprovechar la energía potencial por la caída del agua desde cierta altura o por el flujo de un río o arroyo para transformarla en energía cinética mediante la rotación de turbinas a gran velocidad. Este recurso es el más ampliamente explotado en México. De acuerdo con la legislación (SEGOB, 2008) se hace distinción entre las grandes

centrales (>30 MW) y las pequeñas centrales (≤ 30 MW). Sinaloa, Chiapas, Michoacán y Puebla concentran el mayor número de grandes centrales, mientras que las pequeñas se encuentran ubicadas principalmente en Veracruz, Michoacán y Jalisco. Existen 79 centrales hidroeléctricas, lo que representa una capacidad instalada de 12,474.24 MW y una generación de energía de 38,820.97 GWh (SENER, 2013a).

Biomasa. También conocida como bioenergía, la cual se obtiene de la materia orgánica constitutiva de los seres vivos, sus excretas y sus restos no vivos. Los tipos de biomasa que se aprovechan en el país son: lodos de aguas residuales, residuos agropecuarios (principalmente excreta bovina y porcina), residuos industriales, residuos sólidos urbanos, bagazo de caña y licor negro. El 12% de la energía eléctrica producida por biomasa proviene de la generación de biogas. A la fecha en México la producción de electricidad por medio de biomasa solo proviene del sector privado, suma un total de 67 centrales, con una capacidad instalada de 646.37 MW y una generación de energía de 1,399.33 GWh (SENER, 2013a).

Energía geotérmica. La energía geotérmica se obtiene mediante el aprovechamiento del calor interno de la Tierra concentrado en sistemas o yacimientos geotérmicos como manantiales termales, suelos calientes, volcanes de lodo, fumarolas, géiseres y zonas de alteración hidrotermal. México tiene un desarrollo importante en esta alternativa de generación, que lo posiciona en el cuarto lugar a nivel mundial. El estado de Baja California es considerado el de mayor potencial para la instalación de plantas generadoras de este tipo. En México hay cuatro campos geotérmicos bajo explotación: Cerro Prieto en Baja California, Las Tres Vírgenes en Baja California Sur, Los Azufres en Michoacán y Los Humeros en Puebla. Actualmente el país cuenta con 823.4 MW de capacidad instalada y una producción de 5,999.66 GWh (SENER, 2013a). Se estima un potencial de generación para este recurso de al menos 5,250 MW (Alemán Nava et al., 2014).

RESULTADOS

Distribución geográfica de las ER en México

Basados en la información anterior se logró ubicar las principales plantas de generación de energía renovable presentes en el país. Cabe señalar que solo se consideraron las plantas instaladas hasta julio de 2015, con lo que se obtuvo una representación



Figura 1. Ubicación de centrales de generación de energía renovable en México. Elaboración propia con información de la SENER. Julio de 2015.

gráfica del estado actual de las energías renovables, que se muestra en la Figura 1.

Costos típicos de la instalación de las ER

La principal barrera para la generación de electricidad por medio de ER y por la que la misma ha sido muy baja es el precio de la tecnología asociada. Los costos unitarios de generación de las tecnologías de energías renovables continuarán disminuyendo entre 2012 y 2035. Las principales causas de este decrecimiento serán el aumento en la implantación de las tecnologías, que acelera el progreso tecnológico, y el desarrollo de economías de escala en la fabricación de los equipos asociados (SENER, 2013b).

Generalmente la instalación de plantas de producción de energía ER suele ser muy costosa. La Figura 2 muestra los precios en promedio de la instalación de plantas por tipo de energía renovable. En dicha gráfica se aprecia que la energía eólica tiene un costo promedio menor al resto de las energías. Las hidroeléctricas, como la biomasa, tienen una gran variación debido a que el costo está muy relacionado con la capacidad de generación y la amplia variedad de tecnologías que se pueden emplear.

La razón principal es el aumento de la participación de las energías renovables en la matriz energética mundial, lo que acelerará el progreso tecnológico y el incremento de las economías de

escala en la fabricación de los equipos asociados. Se espera que los costos de las tecnologías más maduras (incluida la eólica en tierra y geotérmica) tengan una caída mínima y la energía hidroeléctrica ya no tenga grandes cambios en sus costos.

Perspectiva sobre la capacidad de almacenamiento de ER mediante H₂

Una vez conocida la capacidad instalada de cada una de las fuentes renovables y la importancia del H₂ en la transición energética, corresponde ofrecer una perspectiva del crecimiento de las ER hasta el año 2029 considerando lo mencionado en el reporte *Prospección de Energías Renovables 2015-2029* (SENER, 2015b). Con base en estas cifras se calcula el potencial de almacenamiento mediante el H₂ como

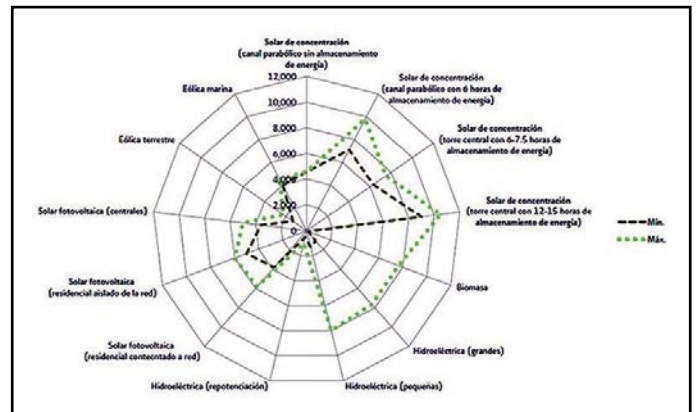


Figura 2. Aproximado de los costos de instalación de plantas de energía renovable (SENER, 2013b).

vector energético. Esta energía almacenada podría en un futuro reconvertirse en electricidad o utilizarse como carburante en vehículos.

La Figura 3 muestra el crecimiento proyectado de las cinco fuentes mencionadas comenzando en 2015 y con incrementos en 2020, 2025 y 2029. Se indican tanto los GWh generados por año y tipo de ER como el porcentaje que representan en el balance de ER a través del tiempo. Se espera un incremento mayor para la energía eólica seguida con desarrollos importantes para la geotermia y la energía solar, para las instalaciones de biomasa se estima un aumento moderado (SENER, 2015b). Para la estimación de los escenarios se considera que no se abrirán plantas adicionales a las estimadas en el reporte de la SENER (2015b) durante el periodo evaluado.

En la Figura 3 también se aprecia el potencial anual de producción de hidrógeno, en miles de toneladas de H₂, que podría obtenerse a partir de la producción de electricidad de las ER. La generación de hidrógeno se estima considerando el proceso de la electrólisis de agua. En este proceso, la molécula de agua se descompone en hidrógeno y oxígeno con ayuda de una corriente eléctrica (para el escenario explorado en este trabajo se usa la electricidad generada por las ER).

Existen diversas tecnologías para llevar a cabo la electrólisis. En este análisis se asume el uso de la tecnología de electrólisis con membrana de intercambio protónico (PEM, por sus siglas en inglés: *polymer electrolyte membrane*). El consumo de energía demandado por la tecnología PEM es de 55 kWh por kg de H₂ producido, que equivale aproximadamente a 75% de eficiencia (Dagdougui, 2012). Sin embargo, un kilogramo de hidrógeno sólo puede aportar unos 33 kWh de energía cuando es empleado. Este tipo de pérdidas existen en el uso de todos los productos que pasan por diferentes etapas. El valor de la gráfica fue obtenido al dividir el total de ER entre los 55 kWh necesarios para producir un kg de H₂ y posteriormente el valor se multiplica por el factor 33 kWh de energía que se puede aprovechar, tal como se muestra en la tesis de De León Almaraz (2014). Por ejemplo, si en el año 2029 se tiene una capacidad de producción de 118,560 GWh/año, la misma se convertirá en 71,135 GWh/año si previamente fue almacenada en forma de hidrógeno.

De acuerdo con los datos obtenidos, el potencial para el año 2029 (Figura 3) es de una producción de

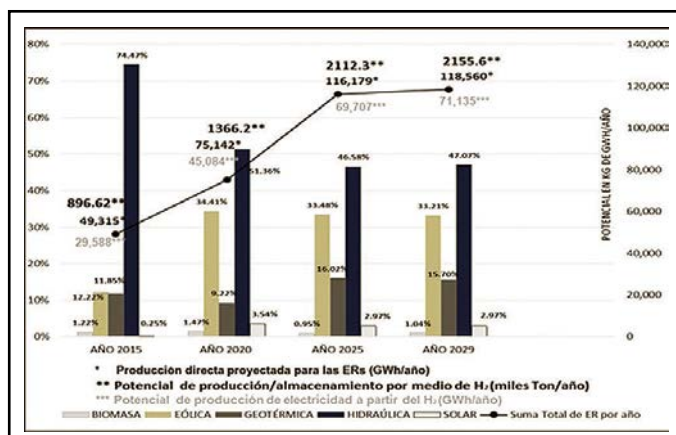


Figura 3. Perspectivas de energía renovable en México hasta el año 2029. Se representa la participación de cada fuente en el periodo evaluado y el potencial acumulado en kg de H₂. Elaboración propia con datos proporcionados por la SENER (2015b).

2,155,000 t de H₂ por año, basado en el uso total de ER, equivalente a 118,560 GWh por año.

Las energías renovables acopladas al hidrógeno son una vía prometedora para la descarbonización de los sistemas de energía a nivel mundial. La consideración del hidrógeno como vector energético ofrece soluciones eficaces para el control de las emisiones, así como para el aseguramiento y el abastecimiento energético limpio. Algunos países como Inglaterra, Alemania, Estados Unidos, España, Francia, Dinamarca, Rusia, Japón, entre otros, se han dedicado a estudiar los múltiples beneficios que ofrecen desde un punto de vista económico, social y ambiental; por lo que sin duda una nueva era energética es inminente y hay que estar preparados para afrontarla de forma adecuada.

Se discute mucho acerca de la preferencia de utilizar la electricidad generada por medio de las energías renovables de manera directa y ésta es sin duda la mejor opción; sin embargo, para el caso de las ER se requeriría una enorme inversión en instalaciones de líneas de alta tensión teniendo en cuenta el problema de las altas variaciones de generación por la intermitencia. Por ejemplo, si un día la capacidad de producción por medio de una estación de turbinas eólicas es superior a la capacidad de transferencia de las mismas o a la demanda de electricidad, esta energía se desperdicia si no es almacenada por algún medio como el hidrógeno; si por otro lado, existe un periodo en el cual las condiciones meteorológicas no son adecuadas, se deja de producir, teniendo un grave riesgo de no abastecer la demanda. Por

supuesto que las proyecciones estimadas por la SENER parten de la base histórica de capacidades de producción de las ER; sin embargo, la capacidad de producción puede ser aumentada mediante el uso de H_2 creando regiones con autonomía energética, reduciendo el transporte y con la gran ventaja de que el H_2 puede ser utilizado como carburante en automóviles sin emisiones en su uso y generación muy baja de emisiones si es producido a partir de renovables.

Con el nuevo marco legal de la Reforma Energética se hace más flexible la participación del sector privado en la generación y comercialización de energía eléctrica. Sin embargo, el Estado conservará la planeación y control del Sistema Eléctrico Nacional, así como las actividades relativas a la transmisión y distribución de energía eléctrica (SENER, 2014c). Esta reforma prevé y promueve el fortalecimiento de las ER apoyada por la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LEARFTE), así como por el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables (PEAER), en donde se indica una participación de 22.81% de las energías limpias en la generación para 2018 hasta alcanzar 26.49% para 2027 (SENER, 2014b). Estudios de factibilidad deberían ser realizados para tener una perspectiva más clara con respecto al hidrógeno como opción de almacenamiento de las ER.

Resulta indispensable empezar a observar la forma en que otros países han resuelto los proble-

mas inherentes del sector ER-hidrógeno, como lo es el almacenamiento y distribución, ya que la falta de infraestructura es uno de los principales inconvenientes que enfrenta actualmente la economía del hidrógeno. Es necesario realizar un estudio detallado de la cadena de suministro del hidrógeno a través de diferentes fuentes de energía para abastecer diversos nichos de mercado. Finalmente, el desarrollo de las ER y el hidrógeno se proyecta como un polo de desarrollo y crecimiento en los años por venir al poder resultar en la creación de un gran número de fuentes de empleo directo.

CONCLUSIONES

El sector de ER, a pesar de ser una industria naciente en México, ha crecido favorablemente en los últimos años. El mercado mexicano es amplio y atractivo sobre todo por el potencial solar, eólico y geotérmico. Los compromisos adquiridos por el país sobre reducción de emisiones de CO_2 hacen imperativa la pronta transición energética, ya que se espera que para 2024 más de 30% de la generación de electricidad provenga de energías limpias. Actualmente la energía hidráulica es la fuente más ampliamente explotada y continuará siéndolo en los próximos años. Este panorama motiva a la reflexión sobre el problema de intermitencia y de uso de la red eléctrica para la satisfacción de la demanda de electricidad que provocará el desarrollo de este sector, lo que hace interesante el estudio del posible establecimiento de empresas generadoras de H_2 como vector energético.

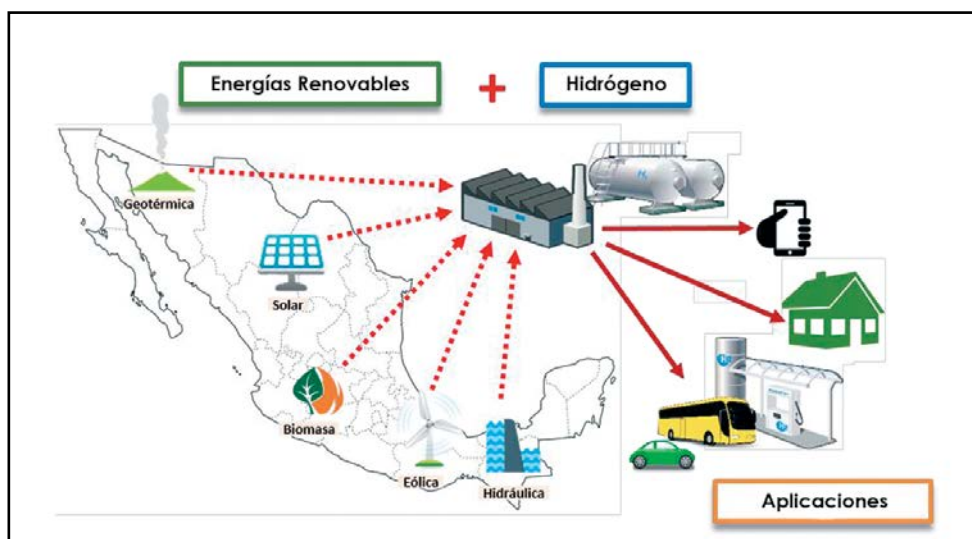


Figura 4. El hidrógeno en conjunto con las ER favorece la transición energética del país al ofrecer una solución a la intermitencia de las ER y poder ser utilizada en varias aplicaciones de forma sustentable. Elaboración propia.

El objetivo de este trabajo fue realizar una estimación del potencial de la utilización de ER para la producción de H₂ para resolver el problema de la intermitencia de las ER.

De acuerdo con la estimación prospectiva que se llevó a cabo en este trabajo, se puede concluir que el potencial de almacenamiento de H₂ es atractivo, ya que podría lograrse un abastecimiento de 118,560 GWh por año de energía renovable.

Por el momento se han establecido los primeros escenarios que serán utilizados como base para

estudiar la viabilidad del uso del H₂ como nuevo vector energético, y de esta forma plantear la posible configuración de su cadena de abastecimiento en México.

Agradecimientos

Se reconoce y agradece ampliamente al programa Interinstitucional para el Fortalecimiento de la Investigación y el Posgrado del Pacífico (DELFIN)-CONACyT por el financiamiento para realizar la presente investigación, así como al Centro de Investigación en Matemáticas, A. C. (CIMAT) unidad Aguascalientes por su apoyo y las facilidades prestadas.

LITERATURA CITADA

- ALEMÁN NAVA, G. S. et al. Renewable energy research progress in Mexico: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 140-153, 2014.
- BALL, M. y WIETSCHHEL, M. The future of hydrogen-opportunities and challenges. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(2): 615-627, 2009.
- BHATTACHARYA, M. et al. The effect of renewable energy consumption on economic growth: evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 162, 733-741, 2016.
- BUYUKSAHIN, B. Speculation demystified: virtuous volatility. *The Journal of the International Energy Agency*, 34-35, 2012.
- CABEZAS, M. D. et al. Hydrogen energy vector: demonstration pilot plant with minimal peripheral equipment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(32): 18165-18172, 2014.
- DAGDOUGUI, H. *Decision support systems for sustainable renewable energy systems and hydrogen logistics : modelling, control and risk analysis*. PhD thesis. France: École Nationale Supérieure des Mines de Paris-Italy: Università degli studi di Genova, 2012.
- DELEÓN ALMARAZ, S. *Multi-objective optimisation of a hydrogen supply chain*. PhD thesis. France: Université de Toulouse, 2014.
- GALARZA, C. *Hidrógeno*. D. F., México: Comisión Nacional Para El Uso Eficiente de La Energía, 2008.
- HUACUZ, J. M. The road to green power in Mexico—reflections on the prospects for the large-scale and sustainable implementation of renewable energy. *Energy Policy*, 33(16): 2087-2099, 2005.
- IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). *Energy and climate change*. France: OECD-IEA, 2015.
- IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). *Renewable Energy. Medium-Term Market Report 2014. Market Analysis and Forecasts to 2020. Executive Summary*. France: OECD-IEA, 2014.
- IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). *World Energy Outlook 2009*. France: OECD-IEA, 2009.
- IPCC CORE WRITING TEAM et al. *Climate Change 2007. Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 104 pp., 2007.
- SALAMEH, Z. *Renewable energy system design*. US: Academic Press-Elsevier, 2014.
- SCHOLTEN, D. y BOSMAN, R. The geopolitics of renewables; exploring the political implications of renewable energy systems. *Technological Forecasting and Social Change*, 103, 273-283, 2016.
- SE (SECRETARÍA DE ECONOMÍA). *Energías Renovables*. México: Autor, 2013.
- SEGOB (SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN). Decreto por el que se expide la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. *Diario Oficial de la Federación*, 28 de noviembre de 2008.
- SENER (SECRETARÍA DE ENERGÍA). *Balance Nacional de Energía 2013*. México: Autor, 2014a.
- SENER (SECRETARÍA DE ENERGÍA). *Informe Sobre La Participación de Las Energías Renovables En La Generación de Electricidad En México Al 31 de Diciembre de 2014*. México: Autor, 2015a.
- SENER (SECRETARÍA DE ENERGÍA). *Inventario Nacional de Energías Renovables*. México: Autor, 2013a.

- SENER (SECRETARÍA DE ENERGÍA). *Programa Especial Para El Aprovechamiento de Energías Renovables*. México: Autor, 2014b.
 - SENER (SECRETARÍA DE ENERGÍA). *Prospectiva de Energías Renovables 2013-2027*. México: Autor, 2013b.
 - SENER (SECRETARÍA DE ENERGÍA). *Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029*. México: Autor, 2015b.
 - SENER (SECRETARÍA DE ENERGÍA). *Prospectiva de Gas Natural y Gas L.P. 2015-2029*. México: Autor, 2015c.
 - SENER (SECRETARÍA DE ENERGÍA). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2014-2028*. México: Autor, 2014c.
 - SENER (SECRETARÍA DE ENERGÍA). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029*. México: Autor, 2015d.
 - SENER (SECRETARÍA DE ENERGÍA). *Recursos Renovables Para La Producción de Energía En México*. Mexico: Autor, 2014d.
 - VIDAL AMARO, J. J. et al. Optimal energy mix for transitioning from fossil fuels to renewable energy sources—the case of the mexican electricity system. *Applied Energy*, 150, 80-96, 2015.
- De páginas electrónicas**
- AIR LIQUIDE. *Air Liquide et l'hydrogène*. France: Air Liquide, 2008. Recuperado de <http://www.planete-hydrogene.com/fr/air-liquide-et-lhydrogene.html>
 - ARIEMA Energía y Medio Ambiente SL. *Producción de H2 > pilasde.combustible*. España: ARIEMA Energía y Medio Ambiente SL., 2003a. Recuperado el 11 de octubre de 2015, de <http://www.pilasde.com/tecnologia-del-hidrogeno/produccion-h2>
 - ARIEMA Energía y Medio Ambiente SL. *Usos Del Hidrógeno > pilasde.combustible*. España: ARIEMA Energía y Medio Ambiente SL., 2003b. Recuperado el 11 de octubre de 2015, de <http://www.pilasde.com/tecnologia-del-hidrogeno/usos-h2>
 - CADET, G. La question énergétique au mexique: où en est la réforme de l'électricité? *Observatoire des Amériques*. Montreal, Quebec, Canadá: CEIM-UQAM, 2003. Recuperado el 22 de agosto de 2016, de <http://dspace.africaportal.org/jspui/bitstream/123456789/387/1/La%20question%20energetique%20au%20Mexique%20-%20Ou%20en%20est%20la%20reforme%20de%20electricite.pdf?1>
 - CÁMARA DE DIPUTADOS-CEFP (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas). *Evolución y perspectiva del sector energético en México, 1970-2000*. México: CEFP, 207 pp., 2001. Recuperado el 19 de septiembre de 2016, de <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0512001.pdf>
 - ENERGÍA Y SOCIEDAD. *Cambio climático*. España: Energía y sociedad, 2014. Recuperado el 11 de octubre de 2015, de <http://www.energiaysociedad.es/ficha/cambio-climatico>
 - FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, M. Intermitencia renovable: otro de los problemas. *Blogs Madrid Más > Ciencia y tecnología*, 8 de abril de 2010. Recuperado de <http://www.madrimas.org/blogs/ciencianuclear/2010/04/08/131696>
 - FINNERTY, J. Hydrogen cars: new government funding for fuel cell vehicles. *Autoexpress*, 10 de mayo de 2016, 5:00 p.m. Recuperado el 15 Septiembre de 2016, de <http://www.autoexpress.co.uk/car-news/93180/hydrogen-cars-new-government-funding-for-fuel-cell-vehicles>
 - KOTTASOVA, I. Oil's wild ride isn't over yet. *CNN Money. Market Movers and Shakers*, 13 de octubre de 2015, 12:13 p.m. Recuperado el 8 de noviembre de 2015, de <http://money.cnn.com/2015/10/13/news/economy/oil-prices-iea-volatility/>
 - MÉXICO NEWS NETWORK. *Impulsa Peña Nieto en COP21 iniciativa para fijar precio a carbono*. Mexico News Network, martes 1 de diciembre de 2015, 13:52. Recuperado el 2 de diciembre de 2015, de <http://www.mexiconewsnetwork.com/es/nacional/impulsa-epn-cop21-precio-carbono/>
 - NOW. NATIONAL ORGANISATION HYDROGEN AND FUEL CELL TECHNOLOGY [Portal electrónico]. Berlín, Alemania: NOW GmbH, 2012. Recuperado el 1 de diciembre de 2015, de <https://www.now-gmbh.de/en>
 - PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. *Declaración de Líderes de América del Norte sobre la Alianza del clima, energía limpia y medio ambiente*. México: Presidencia de la República, 2016. Recuperado el 22 de septiembre de 2016, de <https://www.gob.mx/presidencia/documentos/declaracion-de-lideres-de-america-del-norte-sobre-la-alianza-del-clima-energia-limpia-y-medio-ambiente>
 - PROMÉXICO TRADE AND INVESTMENT. *Negocios. The new mexican energy model*. México: ProMéxico, 2014. Recuperado de <http://www.promexico.gob.mx/documentos/revista-negocios/html/2014-11/english/11-2014/art01.html>
 - SCANDINAVIAN HYDROGEN HIGHWAY PARTNERSHIP. [Portal electrónico]. Gotemburgo, Suecia: Scandinavian Hydrogen Highway Partnership, 2011. Recuperado el 1 de diciembre de 2015, de <http://www.scandinavianhydrogen.org>
 - UN (UNITED NATIONS). *United Nations Conference on Climate Change-COP21*. 2015. Recuperado el 1 de diciembre de 2015, de <http://www.cop21.gouv.fr/en/learn/what-is-cop21>

Cinna Lomnitz Aronsfrau. *In memoriam*

Arturo Iglesias Mendoza^{1*}

Iglesias Mendoza, A. Cinna Lomnitz Aronsfrau. *In memoriam*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 102-105, enero-abril 2017.

... Allí, en el comienzo de la primavera
marina,
cuando el ave asustada y hambrienta
persigue a la nave
y en la sal apacible del cielo y el agua
aparece el aroma
del bosque de Europa, el olor de la
menta terrestre,
supimos, amada, que Chile sufría
quebrado por un terremoto. (Neruda,
1967)

"...la ciudad desfallece
bajo el quinto sol,
no la castiga el agua,
ni el tigre,
ni la furia del viento,
ni tan siquiera el fuego ardiendo
en el plumaje sagrado
del crepúsculo,
sino el socavón
de sus entrañas..." (Yáñez, 1985).

¿Cuántas personas habrán tenido la desventura de haber vivido en carne propia el sismo más grande registrado hasta ahora en el mundo y también el sismo más destructivo que haya ocurrido en México? Seguramente no muchas, pero aun menos son aquellas cuya vida giró alrededor de los sismos. Si por casualidad hubo varias, al menos tuve la fortuna de conocer a una de ellas: Cinna Lomnitz nació en Colonia, Alemania, en 1925, 12 años antes de migrar a Chile. Describe su migración así:

A principios de 1933, pocas semanas después de la ascensión de Hitler al poder, emigré de Alemania ya que mi padre, por consejo de su mejor amigo, un miembro destacado del Partido Nazi, había resuelto autoexiliarse.



Dr. Cinna Lomnitz Aronsfrau. Fotografía tomada de Conacyt Agencia Informativa.

Tenía yo siete años y no había oído hablar de México. Un par de años más tarde, pasábamos una estancia veraniega en la playa de Knokke, en la Riviera belga. Mi padre, un joven abogado de mucho éxito, estaba pensando rehacer su vida lo más lejos posible de una Europa que se precipitaba al abismo de una guerra... (Lomnitz Aronsfrau, 2003, párrs. 21 y 22)

Estudió Ciencias Físicas y Matemáticas en la Universidad de Chile y se graduó en 1948. Hizo una maestría en la Universidad de Harvard con el tema de mecánica de suelos. Ahí estudió con Karl von Terzaghi, reconocido como uno de los padres de la mecánica de suelos. Lomnitz escribió un texto titulado "Recuerdo

¹ Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

* Autor para correspondencia: arturo@geofisica.unam.mx

a Terzaghi", en el que hace un extraño homenaje a su maestro, del cual transcribo unas líneas: "...El hecho es que el profesor Karl von Terzaghi ejercía sobre nosotros los estudiantes una fascinación letal. Lunes, miércoles y viernes estábamos todos bien sentaditos en el auditorio semicircular de ingeniería de Harvard, esperando que apareciera cual malévolo vampiro..." (Lomnitz Aronsfrau, 1993, párr. 1).

Fue becado por la UNESCO para estudiar el doctorado en el *California Institute of Technology* (CALTECH), en donde obtuvo el grado de doctor en 1955. Ahí convivió con grandes profesores: "Eran los años cincuenta y en el Caltech estaba el trío de sismólogos más destacados del mundo: Charles F. Richter, Beno Gutenberg y Hugo Benioff, ¡fue una suerte doctorarme allí!..." (Lomnitz Aronsfrau en Salcedo Meza, 1999, párr. 2).

En numerosos textos, Lomnitz recuerda sus experiencias con los grandes profesores de la época que, sin duda, trazaron no sólo su trayectoria científica sino también su vida. Un par de ejemplos se incluyen a continuación.

El primero:

Hugo Benioff era otro personaje genial del Caltech; le gustaba inventar instrumentos diversos: desde guitarras eléctricas hasta sismógrafos. Creo que él fue el teórico más importante de ese tiempo. Me propuso el tema de mi tesis doctoral, ya que él creía que la forma como se deforman las rocas tiene que ver con la predicción de los sismos. Pero en mi tesis demostré que no era así. Él se desilusionó, pero así es la ciencia... (Lomnitz Aronsfrau en Salcedo Meza, 1999, párr. 4)

Otro ejemplo:

Poco faltó para que me inscribiera con Dick Feynman. Pero Anderson ya se había ganado el premio Nobel y Feynman todavía no. Además, Feynman era muy excéntrico; iniciaba sus clases con un redoble de tambor para despertar a los estudiantes. Esas fueron las clases de física que se hicieron famosas en todo el mundo durante el siglo veinte. (Lomnitz Aronsfrau en Urrutia Fucugauchi, 2016, párr. 5)

Después de doctorarse pasó dos años más en Caltech contratado por Richter como su asistente en una estancia postdoctoral. En 1957 regresó a Chile como director fundador del Instituto de Geofísica de la Universidad de Chile.

Cinna Lomnitz participó en una expedición oceanográfica en 1959. El líder científico de esa expedición era Maurice Ewing, uno de los geofísicos más notables de la historia. Cuenta Lomnitz:

...Maurice Ewing, un texano enorme, nunca alzaba la voz. Lo conocí después de su segundo infarto, cuando me invitó a formar parte de la Expedición 15 de su barco oceanográfico, el Vema, un yate de tres palos modificado para servir de laboratorio flotante. Ewing trabajaba como un endemoniado. Por órdenes del Doc (así le decíamos), se izaba la bandera pirata en alta mar. Entonces no había más ley que la suya. Ewing fue el último de los grandes exploradores y descubridores de la mar océano... (Lomnitz Aronsfrau, 2003, párr. 3)

En la mañana del sábado 21 de mayo de 1960 comenzó una serie de terremotos que sacudieron el sur de Chile. Entre las 6 a.m. y la 1 p.m. se reporta en los catálogos internacionales un sismo de magnitud 8.6, uno de 8.1 y uno de 7.1, además de un número importante de temblores de menor magnitud. Lomnitz viajó apenas el día siguiente por avión a la Ciudad de Concepción, una ciudad ubicada a más de 400 km de distancia de Santiago y cercana a la zona epicentral de los sismos ocurridos el día anterior. Llegó al aeropuerto de Concepción cerca de las 3:15 p.m., cuando ocurrió el sismo más grande de la historia sísmica instrumental: 300 km al sur de Concepción, cerca de la Ciudad de Valdivia, se desató un terremoto de magnitud 9.5. Lomnitz describe el movimiento:

A las 3:15 del día 22 de mayo de 1960 me encontraba caminando a lo largo del aeropuerto de la Ciudad de Concepción cuando empecé a sentir un enorme movimiento muy lento, los árboles se movían de esta forma (circular) e incluso había aviones en la pista, sin gente, y se movían de un lado para otro... rodando. El epicentro estaba a más de 200 km de distancia, pero el movimiento era muy impresionante. (Lomnitz Aronsfrau en UNAM, s. f.)

De 1964 a 1968 fungió como jefe de la red sismológica de la Universidad de California-Berkeley. Lomnitz recuerda aquella época de su vida, entrevistado en 2015:

Fue una vivencia extraordinaria. En esa época se empezó a usar algo que después no cundió mucho, los bailes (encuerados). Se prestaban ciertas viviendas y los invitados tenían que ajustarse a modalidades muy interesantes. Por ejemplo, al bailar no era buena onda fijarse en lo que estaban haciendo las demás parejas. Era una mezcla de puritanismo con ideas muy avanzadas... (Lomnitz Aronsfrau en Saavedra, 2016, párr. 9)

En esa época también fue parte de la misión patrocinada por la UNESCO "Reconocimiento sismológico: Terremoto del 17 de octubre de 1966 destructor en el Perú" que compartió con el Dr. Luis Esteva Maraboto, brillante ingeniero sísmico y en su momento, Jefe del Departamento de Estructuras del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Probablemente con esa experiencia empezaron los contactos con México. En 1968, tras invitaciones de Emilio Rosenblueth y Roger Díaz de Cossío, se incorpora al Instituto de Geofísica de la UNAM, encabezado por el Dr. Ismael Herrera Revilla, quien consiguió para Lomnitz el nombramiento más alto posible: Investigador Titular C.

En sus primeros años en México, Lomnitz contribuyó sustancialmente a la modernización de la red de estaciones sismológicas proponiendo un novedoso sistema de telemetría, diseñado y construido en nuestro país, que permitía por primera vez, tener señales sísmicas en tiempo real de manera remota. Es así como se constituye la Red Sismológica Mexicana de Apertura Continental (RESMAC). La misma fue uno de los grandes orgullos de Lomnitz. Él y sus colaboradores de la época frecuentemente platicaban con emoción de los diseños electrónicos y el despliegue de la red:

Nuestros técnicos iban al otro lado, y regresaban con los bolsillos llenos de transistores especiales que no se encontraban en el comercio. La verdad, era la única manera de construir un sistema avanzado de este tipo.

[...]

Fue la primera red sísmica de telemetría. Anteriormente, cada estación debía tener su cuidador que enviaba los sismogramas a México, y los datos llegaban tarde, mal y nunca. RESMAC no tenía necesidades de personal en las torres, y la red de microondas llegaba a todo el país y teníamos excelente cobertura. (Lomnitz Aronsfrau en Saavedra, 2016, párrs. 13 y 15)

En este texto empecé hablando de la tremenda coincidencia de que un sismólogo como Cinna Lomnitz estuviera presente en dos sismos de los más relevantes. Pero más allá de la coincidencia, algunos sismólogos tienen una suerte de atracción fatal por los temblores. La fotoaxia positiva es la predisposición de algunos seres vivos de sentirse atraídos hacia la luz. Algunos de ellos no pueden evitar acercarse a los focos, que en ocasiones los conducen a situaciones fatales.

El Dr. Lomnitz, al parecer, no podía evitar acercarse a la fuente de los grandes temblores. En el siguiente texto habla de su experiencia durante el sismo del 19 de septiembre de 1985:

La casa, una de las más antiguas de San Angel, empezó a crujiir y a mecerse suavemente a las 7:19 de la mañana [...] La sismología ha avanzado desde entonces, y hoy le pondríamos membrete al fenómeno —"intensidad seis en la escala de Mercalli", pensé—. Se trataba de un sismo lejano, obviamente.

Al llegar al Instituto de Geofísica encontré que ya habían llegado varios compañeros. El sismograma se veía enorme y el teléfono estaba muerto: no había manera de consultar con los colegas americanos. Pero hicimos una buena localización preliminar: epicentro frente a Lázaro Cárdenas, Michoacán. Ni modo, vamos para allá. (Lomnitz Aronsfrau, 2005, párrs. 1 y 2)

Bajo el efecto de una especie de fotoaxia positiva, Lomnitz aborda, lo más rápido posible, una avioneta con rumbo a Zihuatanejo, zona cercana al epicentro. En su visita observó las manifestaciones propias de un gran temblor:

Sobrevolando la costa noté que algo había cambiado. El nivel de la costa había subido un poco. Sí, efectivamente, la línea de marea parecía haberse retirado. ¿Cuánto será? Un metro o dos. Ya en Lázaro Cárdenas, ciudad de 150 mil habitantes situada en la desembocadura del río Balsas, en suelos muy poco prometedores, el daño sísmico resultó mínimo. "Parece que no hay víctimas..." (Lomnitz Aronsfrau, 2005, párr. 4)

Puedo imaginar el desconcierto del Dr. Lomnitz algunas horas después: "En la noche vino la sorpresa. La televisión regresó al aire y pudimos ver con asombro la tremenda destrucción que se había producido en la ciudad de México, a 400 kilómetros de distancia..." (Lomnitz Aronsfrau, 2005, párr. 5). «Fue desastroso, se cayeron 400 edificios, todos en la zona del Lago. No se cayó nada en las Lomas, todo el daño estuvo concentrado en la antigua zona de la Laguna de México..." (Lomnitz Aronsfrau en Saavedra, 2016, párr. 17).

Jaime Urrutia, en un excelente texto biográfico, reflexiona: "Los efectos del sismo de 1985 fueron peores de lo que nadie se imaginaba. A partir de este momento, Lomnitz deja de lado sus diversas líneas de investigación y se dedica exclusivamente a desentrañar las causas de esta catástrofe..." (Urrutia Fucuguchi, 2016, párr. 18).

En 1990 optó por la ciudadanía mexicana y obtuvo una gran cantidad de reconocimientos: Premio Nacional de Ciencias y Artes (1995), Premio Universidad Nacional Autónoma de México (1997), Investigador Emérito del Sistema Nacional de Investigadores, Investigador emérito del Instituto de Geofísica (2002) y “Ángel de la Ciudad” por la Jefatura de Gobierno de la Ciudad de México (2015).

En la vida de Lomnitz no todo fue conocimiento, aventura y reconocimiento. Hubo también momentos devastadores. Por ejemplo, cuando una terrible enfermedad condujo a la muerte a su hijo, el muy destacado científico Dr. Jorge Lomnitz Adler. Al respecto, Cinna escribió: “...Cuando muere un científico, el país está de duelo. Si muere en la flor de la edad, antes de alcanzar la plenitud que sus talentos

nos prometían, hay consternación en el mundo de la ciencia. [...] Era mi hijo...” (Lomnitz Aronsfrau, 1994, párrs. 1 y 2).

“Hay ciertas cosas que no tolero, como la violencia y la guerra. Soy muy pacífico y sólo me enoja cuando he acumulado disgustos” (Lomnitz Aronsfrau en Salcedo Meza, 1999, cuadro de datos al final del texto).

El pasado 7 de julio de 2016 murió el Dr. Cinna Lomnitz. Acababa de cumplir 91 años. Creo que no se puede decir que estaba en la flor de la edad, pero es clara la consternación en el mundo de la ciencia. Descanse en paz.

Ciudad de México, 28 de septiembre de 2016

LITERATURA CITADA

- SALCEDO MEZA, C. ¿Quién es? Cinna Lomnitz. ¿Cómo ves?, 10, septiembre de 1999.
- UNAM-INSTITUTO DE GEOFÍSICA. *Entrevista a Cinna Lomnitz para el video conmemorativo de los 100 años del Servicio Sismológico Nacional*. [Material videograbado]. México: Autor, s. f.
- De páginas electrónicas
- CONACYT Conacyt Agencia Informativa. *Cinna Lomnitz Aronsfrau* [Fotografía]. Recuperado de <http://conacytprensa.mx/index.php/sociedad/personajes/192-cinna-lomnitz-aronsfrau>
- LOMNITZ ARONSFRAU, C. El próximo temblor: ¿Estamos preparados? *Nexos*, 1 de noviembre de 2005. Recuperado de <http://www.nexos.com.mx/?p=11708>
- LOMNITZ ARONSFRAU, C. Gloria y el TLC. *Nexos*, 1 de septiembre de 1993. Recuperado de <http://www.nexos.com.mx/?p=6873>
- LOMNITZ ARONSFRAU, C. La pasión científica. *Nexos*, 1 de abril de 2003. Recuperado de <http://www.nexos.com.mx/?p=10747>
- LOMNITZ ARONSFRAU, C. Un corazón intrépido. *Nexos*, 1 de marzo de 1994. Recuperado de <http://www.nexos.com.mx/?p=6996>
- SAAVEDRA, D. Fallece el sismólogo Cinna Lomnitz. *Reforma*, 7 de julio de 2016. Recuperado de <http://www.reforma.com/aplicacioneslibre/articulo/default.aspx?id=888119&md5=887e145e913d12d240060a6507be3744&ta=0dfdbac11765226904c16cb9ad1b2efe>
- URRUTIA FUCUGAUCHI, J. Cinna Lomnitz Aronsfrau. *Boletín AMC/152/16*, 8 de julio de 2016. Recuperado de <http://www.comunicacion.amc.edu.mx/comunicados/1-cinna-lomnitz-aronsfrau>

Biomarkers in Toxicology [Biomarcadores en Toxicología]

Gupta, R. C. (Ed.). *Biomarkers in Toxicology* [Biomarcadores en Toxicología]. San Diego, CA: Academic Press-Elsevier, 2014, 1152 pp., ISBN: 9780124046306.

Raúl Ortiz Martínez^{1*}

Ortiz Martínez, R. *Biomarkers in Toxicology* [Biomarcadores en Toxicología]. Reseña. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 70: 106-107, enero-abril 2017.

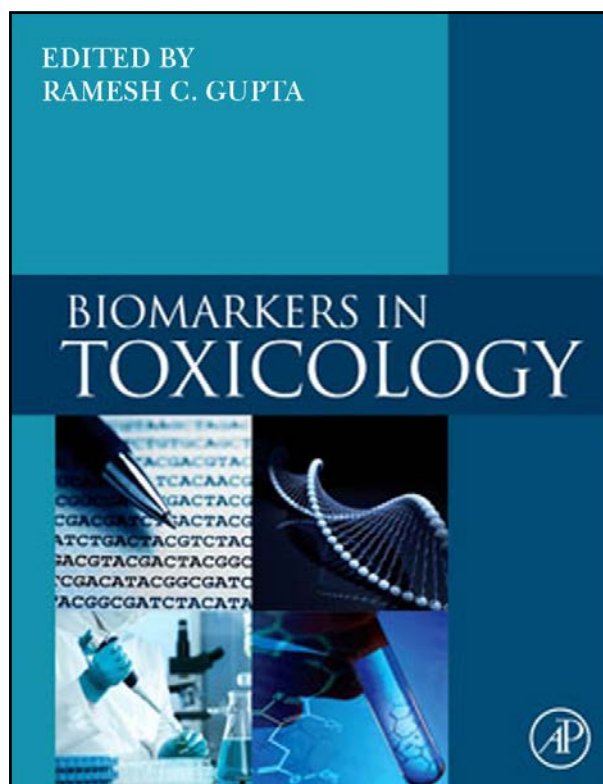
El ímpetu en la búsqueda de biomarcadores en Toxicología es casi igual a la obsesión que en su momento persiguió a los alquimistas para encontrar la piedra filosofal que permitiera transmutar los metales ordinarios en oro.

En el campo de la Toxicología, la búsqueda por descubrir una sustancia biológica o alguno de sus derivados (metabolitos) que sirva como indicador de enfermedad, envejecimiento u otro proceso biológico; más aún, encontrar alguna sustancia que en su origen no es tóxica y que pueda ser usada para la detección y predicción de alteraciones, ha sido incesante.

Un biomarcador ideal sería una sustancia específica, sensible, estable, robusta, no invasiva, que permitiera la detección temprana y progresión de toxicosis. Estas características, entre otras, permitirían conocer acerca del origen y evolución de algunas condiciones tóxicas, de manera inequívoca en algunos casos y orientar acciones terapéuticas; tanto en salud pública como humanos, por eso son tan apreciadas. Dice Timothy Marrs en la introducción del libro reseñado:

Los primeros biomarcadores de exposición a tóxicos datan del tiempo anterior a que las técnicas analíticas de más precisión estuvieran al alcance e incluyen el anillo de Kayser-Fleischer, que es un indicador frecuente de una acumulación de cobre en la córnea, en casos de la enfermedad de Wilson, así como las líneas de plomo en las encías asociadas con la toxicidad por plomo,

De esos tiempos a la fecha, se han identificado sustancias que han sido reconocidas como biomarcadores, por ejemplo durante la Segunda Guerra Mundial, la colinesterasa se utilizó para determinar la exposición a compuestos organofosforados: 20% en la disminución de la actividad normal de esta enzima se traducía en una orden para retirar al personal militar de la exposición a esos agentes neurotóxicos utilizados en la guerra.



Portada del libro *Biomarkers in Toxicology* [Biomarcadores en Toxicología].

¹ Departamento de Disciplinas Pecuarias, Centro de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.
* Autor para correspondencia: rortiz@correo.uaa.mx

El libro *Biomarkers in Toxicology* [Biomarcadores en Toxicología] es un libro robusto que presenta de manera comprensible el estado del arte de compuestos que se han sugerido como biomarcadores, el cual se establece por 151 renombrados colaboradores de diversas partes del mundo. Ello refleja la intención de presentar la actualidad en los aspectos esenciales del tema, pero también de algunos emergentes como la utilización de modelos computacionales predictivos que actualmente son una herramienta invaluable en estudios toxicológicos. Los temas que se abordan se ubican en capítulos integrados en las siguientes partes:

Parte I. Generalidades. En esta parte el autor presenta, en forma de línea de tiempo, los diversos tipos y usos de biomarcadores utilizados en las investigaciones actuales de Toxicología, así como diferentes modelos biológicos comúnmente utilizados en estudios experimentales.

Parte II. Biomarcadores de toxicidad sistémica. Esta parte enfatiza, de manera muy vasta, los biomarcadores utilizados en estudios de toxicidad en los principales sistemas orgánicos; comienza con el sistema nervioso central, pasa por la placenta humana y otros sistemas, y finaliza con el sistema inmune.

Parte III. Biomarcadores de agentes tóxicos. Los principales agentes tóxicos reconocidos, como insecticidas, herbicidas y fungicidas; hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales, micotoxinas y otras sustancias tóxicas son el objeto de esta parte, la cual finaliza con una revisión de biomarcadores para plantas tóxicas.

Parte IV. Biomarcadores farmacéuticos y nutracéuticos. Esta parte del libro resalta biomarcadores de efectos tóxicos de ingredientes en suplementos dietéticos, tan de moda en estos tiempos. Estos también tienen riesgos de toxicidad.

Parte V. Biomarcadores de toxicidad de productos del petróleo y otros compuestos. Esta parte y sus respectivos capítulos proporcionan una visión general de biomarcadores para medir la

exposición al petróleo y otros compuestos una vez que se liberan al medio, así como su impacto en la fauna debido a cambios en su estructura una vez que han sido liberados en el ambiente. Estos cambios en su composición modifican también su toxicidad.

Parte VI. Biomarcadores de radiación, nanopartículas y carcinogénicos. Los daños por radiación producen respuestas biológicas muy complejas, lo que hace necesario el uso de biomarcadores que indiquen el nivel de exposición y el daño producido. Del mismo modo, en esta parte se presentan biomarcadores para detectar alteraciones producidas por los nanomateriales y cancerígenos reconocidos.

Parte VII. Tópicos especiales. Hay que destacar que en esta parte se presenta información relevante para el mejor conocimiento del desarrollo de alteraciones producidas por las enfermedades de Alzheimer y Parkinson; así como trastornos en el citoesqueleto, alteraciones mitocondriales y otras relacionadas con esas enfermedades.

Parte VIII. Aplicaciones de biomarcadores en Toxicología. En esta última parte, el libro aborda diversas aplicaciones de biomarcadores para diferentes aspectos, por ejemplo: evaluación de seguridad de fármacos, monitorización de xenobióticos, susceptibilidad de farmacogenómicos y toxigenómicos, abuso de drogas, alteraciones neuropsiquiátricas y, de manera excepcional, en la aplicación de modelos por computadora para la interpretación de datos de biomarcadores (modelos de dosimetría, de exposición, modelos biológicos de probabilidad...) que de manera conjunta permiten al investigador relacionar los biomarcadores con procesos de exposición o enfermedad.

En general, se puede decir que este libro presenta un panorama de actualidad en todas las partes que lo integran, la bibliografía consultada en cada parte apoya de manera muy sólida el contenido general del libro; de tal manera, debe ser un referente de consulta obligado para quienes han elegido a la Toxicología como parte de su desarrollo académico y profesional.

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.

Esta revista 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. Su misión es 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, HELA, ULRICH'S *Periodicals Directory*, Informe Académico y EBSCO.

El primer número se publicó en el año de 1990 y hasta el momento se han editado más de 60. En su estructura considera tres secciones: 1) *Editorial*, que incluye el Directorio, un Consejo Editor y 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 con las Ciencias Económicas, Sociales y Humanidades.

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

Criterios para publicar

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

Tipos de publicaciones

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes acepta artículos originales: de investigación, revisiones científicas, y notas científicas; asimismo, reseñas de libros y obituarios; sin embargo, se da prioridad al primer género de tal manera que integrarán el 75% del contenido de cada número y el 25% corresponderá para el 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 amerita 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 15 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 cumplirlos 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, la versión del título en Inglés.

Nombre(s) del/los autor(es). Presentar en primer orden el nombre completo del autor principal y posteriormente los demás autores (sin grado académico), agregando al pie de página para cada uno su adscripción (departamento, dependencia e institución) y correo electrónico. Seleccionar un 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, 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, en su caso, 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 los principales resultados que se obtuvieron y señalar si permitieron verificar la hipótesis; asimismo, plantear perspectivas del estudio y de su aplicación.

LITERATURA CITADA. Todas las referencias en el texto deberán aparecer en esta sección y viceversa. Es necesario notar que los títulos de las revistas no se abrevian, que hay espacios entre las iniciales y que se deben nombrar todos los autores. Se anotarán en orden alfabético utilizando el siguiente formato:

Publicación impresa

De libro:

AUTOR (ES) comenzando con el apellido e iniciales del nombre en mayúsculas. *Título (en cursivas)*. Volumen, edición. País: Editorial, páginas, año.

De publicación periódica:

AUTOR (ES) comenzando con el apellido e iniciales del nombre en mayúsculas. *Título del artículo. Revista (en cursivas)*, volumen (número): páginas consultadas, fecha de publicación.

Publicación electrónica

De libro:

AUTOR (ES) comenzando con el apellido e iniciales del nombre en mayúsculas. *Título (en cursivas)*. Volumen, edición. País: Editorial, páginas, año. De: URL, fecha de consulta. doi: xx.xxxxxxxx.

De publicación periódica:

AUTOR (ES) comenzando con el apellido e iniciales del nombre en mayúsculas. *Título. Revista (en cursivas), volumen (número)*: páginas consultadas. De: URL de la versión digital, fecha de consulta. doi: xx.xxxxxxxx.

Sólo en caso de contar con el número DOI, será suficiente con colocar éste y omitir el URL.

Citas en texto

En el texto se citará de la siguiente manera: (Aguilar, 2000) o Aguilar (2000); (Aguilar y Camacho, 2001) o Aguilar y Camacho (2001); (Aguilar et al., 2002) o Aguilar et al. (2002). En orden cronológico (Juárez, 1954; Aguilar, 2000; Méndez, 2000). En orden cronológico y alfabético en el mismo año (Juárez, 1954, 1960, 1960a, 1960b).

Tablas y Figuras. Deberán colocarse en el lugar que les corresponde a lo largo del artículo, serán numeradas consecutivamente utilizando números arábigos y estar referidas en el texto.

Las tablas deberán tener título breve en la parte superior utilizando mayúsculas y minúsculas con tipografía Arial 10 pts., tanto en letras como en números. Su orientación será vertical.

Además de las tablas, el artículo se debe acompañar de al menos una fotografía o ilustración con pie de foto explicativo breve, indicando si es de su autoría o citando la fuente. Los dibujos o esquemas deberán estar en original.

Las imágenes o ilustraciones deben tener una calidad mínima de 300 ppp. o al menos 5 megapíxeles con formato TIFF, EPS o JPG. En caso de que el artículo contenga varias ilustraciones, estas se deberán presentar en otro archivo.

En las figuras —se consideran así tanto gráficas como fotografías y mapas—, utilizar mayúsculas y minúsculas con tipografía Arial 8-10 pts. El tamaño máximo de la figura incluyendo leyendas, 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.

Se debe explicar claramente en la parte superior de cada tabla y al pie de cada figura el contenido de las mismas en *cursiva*.

Artículo de revisión científica

No deberá ser menor de cinco ni mayor a 15 cuartillas. Debe incluir título en Español y su versión en inglés, nombre de los autores y sus datos de adscripción incluyendo correo electrónico a pie de página, resumen (*abstract*) y palabras clave (*keywords*) en Español y en Inglés, 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. La literatura citada, fotografías, 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 su versión en Inglés, nombre de los autores y sus datos de adscripción incluyendo correo electrónico a pie de página, resumen (*abstract*) y palabras clave (*keywords*) en español y su versión en Inglés. El texto deberá escribirse de continuo y sin espacio extra entre los párrafos. La literatura citada, fotografías, figuras y tablas seguirán el mismo formato que en los artículos de investigación.

Reseña de libro

No deberá ser mayor a dos cuartillas. Debe incluir identificación del autor y su obra: nombre del autor, título de la obra, lugar de publicación, editorial, fecha de edición, número de páginas e ISBN; 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.

Obituario

No deberá ser mayor a dos cuartillas. Debe incluir nombre del autor y sus datos de adscripción incluyendo correo electrónico a pie de página, texto del artículo considerando 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.

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. Todos los trabajos son sometidos a un arbitraje de doble ciego a cargo de la Cartera de Árbitros que integra la revista, la cual está compuesta por miembros del SNI o investigadores expertos en el área de los artículos, pertenecientes a instituciones de investigación reconocidas a nivel nacional e internacional. Cada trabajo es revisado por al menos dos evaluadores, especificando en el dictamen si se acepta el artículo intacto, con modificaciones o si definitivamente se rechaza. En caso de contar con resultados discrepantes, se enviará el trabajo a un tercer evaluador, cuyo resultado será definitivo e inapelable.
3. 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. Incluir el comentario del evaluador y su correspondiente acción o respuesta del autor. No es necesario incluir en este archivo las anotaciones realizadas por los evaluadores sobre el artículo.
4. 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.
5. El editor informará al autor contacto en su caso, el avance de su trabajo en el proceso de dictaminación, del rechazo, o la fecha de publicación del mismo.
6. 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.

7. Una vez que el artículo haya sido aceptado, pasará a una revisión de estilo y forma, para su versión definitiva. Se enviarán pruebas de impresión en formato PDF al autor contacto 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.
8. Los artículos presentados son responsabilidad total del autor (o los autores) y no reflejan necesariamente el criterio de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, a menos que se especifique lo contrario.

Indicaciones para los autores

1. El escrito se enviará en formato Word 2003 o 2007 y en formato PDF en hoja tamaño carta.
2. Tipografía: Arial en 12 pts.
3. Justificación: Completa, no utilizar sangría al inicio de párrafos.
4. Márgenes: Superior e inferior 2.5 cm.; izquierdo y derecho de 3 cm.
5. Espacio: Doble.
6. Abreviaturas: Escribir el término completo la primera vez que se usa y seguirlo con la abreviatura entre paréntesis.
7. Las expresiones matemáticas deben estar escritas claramente y se debe utilizar el Sistema Internacional de Unidades. Asimismo, los conceptos y términos científicos y técnicos deberán escribirse de forma clara y precisa.

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 Guadalupe Ruiz Cuéllar editora de la revista, el cual deberá contener artículo impreso, archivos del artículo e ilustraciones, resumen curricular del primer autor y datos del autor contacto.

- 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 contacto.

Es importante que el autor conserve una copia de los archivos y de la impresión enviada.

Revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*

Dirección General de Investigación y Posgrado
Departamento de Apoyo a la Investigación
Av. Universidad núm. 940, C.U.,
Edificio 1-B, segundo piso.
C.P. 20131, Aguascalientes, Ags.
Teléfono/Fax (449) 910-74-42

Correo electrónico: revistaiyc@correo.uaa.mx
www.uaa.mx/investigacion/revista/