

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 23
ENERO-ABRIL 2015

64

EDICIÓN CUATRIMESTRAL
ISSN: 1665-4412



▲ Análisis económico del uso de clorhidrato de zilpaterol en la alimentación de corderas

▲ Influencia de la temperatura y tipo de alimento en la historia de vida de *Ceriodaphnia cornuta* Sars (1885) (Crustacea: Cladocera)

▲ Insectos potencialmente comestibles del estado de Aguascalientes, México

▲ Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México

▲ Detección de capacitores de tantalio de montaje superficial con conexiones marginales

▲ La corrosión atmosférica en la industria electrónica de Mexicali evaluada con gráficos ABC

▲ Modelos de ahusamiento y volumen comercial para *Pinus oocarpa* y *Pinus douglasiana* en la región de Pueblo Nuevo, Durango

▲ El crecimiento de la PyME de Aguascalientes vía la propiedad intelectual

▲ Ingeniería de tejidos. Una nueva disciplina en medicina regenerativa

▲ El artículo de revisión sistemática como vehículo de escritura, investigación y publicación en ingeniería

▲ Santiago Genovés Tarazaga.
In memoriam

▲ La logística y la gestión de la cadena de suministro como estrategias de marketing: una perspectiva de la PyME de Aguascalientes. 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 23, núm. 64, periodo enero-abril 2015, 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 2015 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:

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

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

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

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

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

PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias), <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:

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

DOAJ (Directory of Open Access Journals), <http://www.doaj.org>

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

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

INFORME ACADÉMICO, www.gale-la.com/galeiberoweb/products/db/informe-academico.php



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

FOTOGRAFÍAS DE PORTADA:

- Alimentación de corderas Dorper-Pelibuey • Microfotografía de inmunofluorescencia indirecta de células troncales mesenquimales
- Toma de datos en diferentes secciones del árbol • Ortóptero (*Melanoplus differentialis*) • Huevos asexuales en la cámara embrionaria • Hemíptero (*Thasus gigas*) • Cuenca hidrológica del río Cuale, Jalisco, México • Sureste del estado de Durango

DIRECTORIO

M. en Admón. Mario Andrade Cervantes
Rector

Dr. en C. Francisco Javier Avelar González
Secretario General

Dra. Guadalupe Ruiz Cuéllar
Directora General de Investigación y Posgrado

M. en C. Gabriel Ernesto Pallás Guzmán
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. Raúl Franco Díaz de León
Decano del Centro de Ciencias de la Salud

Dr. Mario Eduardo Zermeño de León
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.I. José Jorge Saavedra González
Decano del Centro de Ciencias Empresariales

Dr. Daniel Eudave Muñoz
Decano 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
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
- Dr. Alfredo Feria Velasco
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
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
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
LABORATORIO DE FISIOLÓGIA CELULAR Y MOLECULAR
- Dr. José Luis Reyes Sánchez
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
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
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
- Dr. Juan Carlos A. Jáuregui Correa
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
- Dra. Edith R. Jiménez Huerta
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS ECONÓMICO
ADMINISTRATIVAS
- Dra. María J. Rodríguez-Shadow
INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA
DIRECCIÓN DE ETNOLOGÍA Y ANTROPOLOGÍA SOCIAL
- Dr. Óscar Alejandro Viramontes Olivas
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN SOCIAL Y ADMINISTRATIVO
Y SUSTENTABLE
- Dra. Mineko Shibayama
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN
DEPARTAMENTO DE INFECTÓMICA Y PATOGENESIS 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

- **La corrosión atmosférica en la industria electrónica de Mexicali evaluada con gráficos ABC** 41-46
Atmospheric corrosion in the electronic industry of Mexicali evaluated by ABC graphs
Gustavo López Badilla
Arcelia Gómez Rodríguez
Elizabeth Romero Samaniego
Sandra Luz Toledo Perea
Julio César Castillo Moreno
Pamela Gómez Onod
Tomás Rosendo Félix Domínguez
- **Modelos de ahusamiento y volumen comercial para *Pinus oocarpa* y *Pinus douglasiana* en la región de Pueblo Nuevo, Durango** 47-53
*Models of taper and merchantable volumen for *Pinus oocarpa* and *Pinus douglasiana* in the region of Pueblo Nuevo, Durango*
Juana Constanza López Martínez
Francisco Cruz Cobos
Juan Abel Nájera Luna
Francisco Javier Hernández

CIENCIAS ECONÓMICAS, SOCIALES Y HUMANIDADES

- **El crecimiento de la PyME de Aguascalientes vía la propiedad intelectual** 54-60
The growth of the SMEs of Aguascalientes track intellectual property
Sandra Yesenia Pinzón Castro
Gonzalo Maldonado Guzmán
María del Carmen Martínez Serna
Ricardo García Ramírez

REVISIÓN CIENTÍFICA

- **Ingeniería de tejidos. Una nueva disciplina en medicina regenerativa** 61-69
Tissue engineering. A new discipline in regenerative medicine
Deyanira Serrato Ochoa
Renato Nieto Aguilar
Asdrúbal Aguilera Méndez
- **El artículo de revisión sistemática como vehículo de escritura, investigación y publicación en ingeniería** 70-77
The systematic review paper as a vehicle for writing, research and publication in engineering
Jorge Iván Pérez Rave

OBITUARIO

- **Santiago Genovés Tarazaga. *In memoriam*** 78-79
Mari Carmen Serra Puche

RESEÑA

- **La logística y la gestión de la cadena de suministro como estrategias de marketing: una perspectiva de la PyME de Aguascalientes** 80-81
Sandra Yesenia Pinzón Castro

Análisis económico del uso de clorhidrato de zilpaterol en la alimentación de corderas

Economic analysis from the use of zilpaterol hydrochloride in the feeding of ewe lambs

Samuel Rebollar Rebollar^{1*}, Rolando Rojo Rubio¹, Leonel Avendaño Reyes², Ulises Macías Cruz², Francisco Daniel Álvarez Valenzuela², Abelardo Correa Calderón², Sergio Soto Navarro³

Rebollar Rebollar, S., Rojo Rubio, R., Avendaño Reyes, L., Macías Cruz, U., Álvarez Valenzuela, F. D., Correa Calderón, A., Soto Navarro, S. Análisis económico del uso de clorhidrato de zilpaterol en la alimentación de corderas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 5-10, enero-abril 2015.

RESUMEN

Con el objetivo de realizar un análisis económico sobre el uso de clorhidrato de zilpaterol en ovinos se realizó una investigación con datos provenientes de la engorda de 24 corderas Dorper - Pelibuey en finalización mediante la técnica de costos, ingresos y rentabilidad. Los animales se dividieron en dos grupos de 12 corderas cada uno: Testigo (T1), alimentados con una dieta basal + 100 g de trigo molido, y (T2), que recibieron la dieta basal + 100 g de trigo molido con 10 mg de clorhidrato de zilpaterol (CZ) cada animal durante 24 horas, por 34 días. El contenido de la dieta tuvo 15.8% de proteína cruda (PC) y 2.8 Mcal/kg de energía metabolizable (EM), con un costo de producción de \$3.96 por kg. Las variables de interés fueron peso inicial, peso final, ganancia de peso, conversión alimenticia y peso en canal. Para T1 el costo de producción, ingreso y ganancia/animal, por venta en canal, fueron de \$823.1, \$918.4 y \$95.3, mientras que para T2 fueron de \$863.8, \$1,111.0 y \$247.1, respectivamente. Asimismo,

Palabras clave: corderas Dorper-Pelibuey, comportamiento, rentabilidad, β -agonista.

Keywords: Dorper-Pelibuey lambs, behavior, profitability, β -agonist.

Recibido: 19 de septiembre de 2013, aceptado: 13 de junio de 2014

¹ Centro Universitario UAEM Temascaltepec-Universidad Autónoma del Estado de México.

² Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California.

³ Department of Animal and Range Sciences, New Mexico State University.

* Autor para correspondencia: srebollarr@uaemex.mx.

la relación beneficio-costo (RB/C) en canal para T1 fue de 1.11 y para T2 de 1.29. Se concluye que la rentabilidad fue mayor en animales suplementados en la dieta con clorhidrato de zilpaterol en relación con los animales testigo.

ABSTRACT

In order to perform an economic analysis on the use of zilpaterol hydrochloride in sheep, a study was conducted with data from 24 Dorper - Pelibuey lambs in their finishing phase using the technique of costs, revenue and profitability. Animals were divided in two groups of 12 ewe lambs each: Control (T1), fed with basal diet + 100 g of ground wheat, and (T2) fed with basal diet + 100 g of ground wheat and 10 mg of hydrochloride zilpaterol (CZ) per animal/day during 34 d. The content of the diet had 15.8% CP and 2.8 Mcal/kg of ME, with cost of \$ 3.96 per kg. The variables of interest were initial weight, final weight, weight gain, feed conversion and carcass weight. For T1 the cost of production, revenue and profit/animal for sale in carcass were \$ 823.1, \$ 918.4 and \$ 95.3, while for T2 \$ 863.8, \$ 1,111.0 and \$ 247.1, respectively. Also, the carcass cost-benefit (RB/C) ratio for T1 and T2 were 1.11 and 1.29, respectively. In conclusion, the profitability was higher in animals supplemented with zilpaterol hydrochloride relative to the controlled animals.

INTRODUCCIÓN

La alimentación representa el mayor costo de producción de toda especie pecuaria de interés

económico (Mondragón et al., 2010). En ovinos Pelibuey, el costo de producción bajo condiciones estabuladas y dieta determinada es superior en más de 40% con relación a un sistema semiextensivo con predominancia de pastoreo y/o suplementación (Rebollar, 2011).

La composición de la dieta y la ganancia de peso dependen en gran medida del sistema de producción utilizado (Rebollar et al., 2008). En ovinos de pelo, la ganancia de peso se comporta de modo diferente según el sistema y tipo de alimentación (Anaya et al., 2005; Salinas et al., 2006; Domínguez et al., 2010): se espera que bajo condiciones estabuladas, la velocidad en ganancia de peso sea superior al de un sistema de producción extensivo o semiextensivo. En los intensivos es una característica la utilización de granos en la alimentación; estos suelen ser costosos, pero un uso eficiente de ellos mejora la rentabilidad del sistema (Domínguez et al., 2010).

Los rumiantes pueden lograr una mejor conversión y eficiencia alimenticia cuando en su dieta se incorporan suplementos y/o aditivos que aumenten su productividad. En este sentido se afirma que los agonistas adrenérgicos- β (AA- β) se han utilizado en producción animal, lo que ha resultado en mayor ganancia de peso y conversión alimenticia, mejores características de la canal, composición química de la carne e incremento de proteína (Mondragón, 2008; Domínguez et al., 2010). Por tanto, un aditivo se concibe como una sustancia adicionada intencionalmente a los alimentos para modificar sus propiedades y/o aprovechamiento por parte del animal; no se utiliza por su valor nutritivo, ya que se asimila en cantidades pequeñas, por lo que generalmente su costo es alto.

Existe evidencia en otras especies pecuarias de que la adición de algunos AA- β generaron mayor comportamiento productivo y características de la canal sin efectos nocivos para la salud humana (Dunshea et al., 2005; Avendaño Reyes et al., 2006). Sin embargo, el aspecto económico del uso de estos productos en ovinos ha sido poco evaluado, pero pueden existir ventajas y desventajas como resultado de la suplementación. Por tanto, el objetivo de este estudio fue realizar un análisis costo-beneficio en ovinos de pelo suplementados con clorhidrato de zilpaterol.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información utilizada en el presente estudio fue resultado de un experimento realizado en la posta ovina del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, en el valle de Mexicali. El experimento duró 34 d y se utilizaron 24 corderas Dorper - Pelibuey (24.56 ± 0.7 kg PV) que se dividieron en dos grupos de 12 animales cada uno: T1= dieta basal + 100 g de trigo molido (testigo), y T2= dieta basal + 100 g de trigo molido mezclado con 10 mg de CZ/animal/d (Avendaño Reyes et al., 2011).

Los animales se agruparon por parejas según su peso inicial y de estos grupos se consideraron bloques. Los tratamientos se asignaron al azar dentro de cada bloque y se llevó a cabo un análisis de varianza. El diseño utilizado fue en bloques completos al azar mediante el procedimiento GLM del programa estadístico SAS (versión 9.0, 2004). Las diferencias se detectaron con un nivel de error del 5%. La cantidad utilizada es porque el producto originalmente se utiliza en bovinos, y se hace una equivalencia por el peso al iniciar la prueba. Así, se llega en este y en varios estudios en ovinos a esa cantidad aproximada de agonista-beta. En bovinos se usan 60 mg, por lo que en ovinos se utilizan 10 mg comúnmente.

Los animales fueron agrupados por peso inicial para eliminar el efecto de dicha variable al inicio del experimento; es decir, se asignaron aleatoriamente a cada tratamiento por parejas similares de peso, de tal forma que se bloquearon para eliminar el efecto del peso al inicio de la prueba. Los animales estuvieron en jaulas o corraletas individuales, cada una de ellas con su comedero y bebedero. Tuvieron una semana de adaptación en esas instalaciones, debido a que antes estuvieron en corrales comunales. El zilpaterol se proporcionó mezclado con 100 g de harina de trigo para asegurar su consumo diario.

La dieta basal se formuló con base en los requerimientos nutricionales (NRC, 2000) de corderos de engorda en finalización (Tabla 1) con 15.8% de PC y 2.8 Mcal/kg de EM. Cabe mencionar que se realizaron pruebas de laboratorio y se hicieron análisis químicos de cada ingrediente de la ración utilizada. La dieta tuvo un costo por kg de alimento de \$3.96. Las variables que se consideraron fueron: cuantificación del peso vivo final sin y con zilpaterol,

ganancia de peso total, ganancia diaria de peso, consumo de alimento y eficiencia alimenticia (g/kg).

Tabla 1. Ingredientes de la dieta base y costo de producción por tonelada de alimento

Ingredientes	Cantidad (kg/t)	Precio (\$/kg)	Total (\$/t)
Trigo molido	618	4.0	2,472.0
Alfalfa picada	280	3.0	840.0
Harina de soya	40	7.1	284.0
Melaza	40	2.0	80.0
Sal	2	3.0	6.0
Fósforo de calcio	10	14.0	140.0
Piedra caliza	10	14.0	140.0
Total			3,962.0
		Costo/kg, \$	3.96
Composición química			
Proteína Cruda	15.8		
EM, Mcal/kg	2.8		

(kg/t)= kilogramos por tonelada.

Entre las características de la canal se registraron peso de canal caliente y fría (kg), rendimiento en canal (%) y área del ojo de la costilla (cm²). Con base en la metodología indicada por Rebollar (2011) y Harcourt (1990) se procedió con la estimación de egresos totales (costos y gastos), ingreso neto por venta de animales y estimación de la relación beneficio-costos (RB/C) (Rebollar y Jaramillo, 2012) a nivel tratamiento, es decir, en los grupos testigo (T1) y CZ (T2). En cuanto a costos durante el experimento se consideraron conceptos determinantes como mano de obra, compra de corderas, vitaminas, desparasitante, alimentación y agua. Para la estimación del ingreso se utilizó el precio/kg de PV y precio/kg de canal, los cuales fueron de \$25.0 y \$55.0.

RESULTADOS

La Tabla 2 muestra los resultados de las variables evaluadas en el comportamiento de las corderas estabuladas Dorper-Pelibuey y las características de la canal suplementadas en el mismo periodo de tiempo. Adicionalmente, se observa la respuesta que tuvo el agonista sobre todas las variables del comportamiento productivo (Figura 1). Por ejemplo,

el peso vivo final fue mayor debido al efecto del agonista que sin este. Asimismo, el rendimiento en canal caliente fue superior en casi ocho puntos porcentuales con relación al testigo; de forma similar, se observan mejoras con la adición de CZ en el resto de las variables.

Tabla 2. Comportamiento productivo y características de la canal en corderas Dorper-Pelibuey

Comportamiento productivo	Testigo	Zilpaterol	E. E.*
		(0.3 g/d)	
Peso inicial (kg)	26.70	27.00	0.10
Peso vivo final (kg)	36.30	37.50	0.24
Ganancia de peso total (kg)	9.50	10.50	0.26
Ganancia diaria de peso (g)	280.00	309.00	8.80
Consumo de alimento (kg)	1.30	1.20	0.01
Eficiencia alimenticia (g/kg)	215.00	261.00	8.50
Características de la canal			
Peso de canal caliente (kg)	16.70	20.20	0.37
Peso de canal fría (kg)	16.20	19.50	0.33
Rendimiento en canal (%)	46.20	50.70	0.63
Área del ojo de la costilla (cm ²)	12.72	16.76	0.78

* E.E.= Error Estándar. 0.3 g/d= 0.3 g por día.

La Tabla 3 presenta costos totales de producción por cabeza, donde se observa que el costo total de producción, en ambos tratamientos, se ubicó entre



Figura 1. Alimentación de corderas Dorper-Pelibuey en fase experimental. Imagen propiedad de los autores.

\$823.10 y \$863.82 por cabeza. La compra de cada cordera se realizó en 22.00 pesos por kg de peso vivo inicial al inicio del experimento, de ahí que el costo de adquisición de los animales sea el mismo, tanto para el testigo como para el zilpaterol.

Tabla 3. Estructura de costos de producción en corderas Dorper-Pelibuey

Concepto	Testigo	%	Zilpaterol	%
Número de corderas	12		12	
Compra de cordera	587.50	71.38	587.50	68.01
Vitaminas-desparasitante	3.50	0.42	3.50	0.41
Alimentación				
Adaptación	59.40	7.22	59.40	6.88
Experimental	152.20	18.49	164.80	19.08
Zilpaterol	0.00	0.00	28.12	3.26
Agua	0.50	0.06	0.50	0.06
Mano de obra	20.00	2.43	20.00	2.32
Total	823.10	100.00	863.82	100.00

Durante el proceso experimental el costo, ingreso y ganancia total (Tabla 4) de ovinos, por efecto del beta-adrenérgico, se comportaron de forma distinta. El ingreso total, en pie, provino al considerar un precio de venta del animal finalizado de \$25 por kg. La ganancia en pie, para ambos tratamientos, se determinó restando del ingreso total, el costo total de producción. De forma similar para la ganancia en canal. Con el agonista, la ganancia monetaria en pie representó 38.6% con relación a la respectiva en canal. Para el testigo, la RB/C en canal significó 86% de la del agonista. Por el contrario, sin el agonista la ganancia y la RB/C expresaron 88.6 y 99.1% con relación al efecto del agonista. El hecho de determinar una ganancia tanto en pie como en canal es con en el afán de presentar información por separado, que en algún momento sirva a quien deba tomar decisiones de producción.

DISCUSIÓN

El agonista adrenérgico-beta (zilpaterol o clorhidrato de zilpaterol) en relación con el testigo, presentó diferencias solo en dos variables consideradas como comportamiento productivo (Tabla 2). De forma importante, en cuanto a diferencia absoluta, fue GDP, eficiencia alimenticia y rendimiento en canal,

Tabla 4. Costo, ingreso, ganancia y relación beneficio-costos en corderas Dorper-Pelibuey con y sin zilpaterol con cifras en pesos de 2012*

Concepto	Testigo	Zilpaterol
Costo total	823.10	863.82
Ingreso total, en pie	907.50	937.50
Ingreso total en canal	918.40	1,111.00
Ganancia, en pie	84.40	73.68
Ganancia, en canal	95.30	247.18
RB/C, en pie	1.10	1.09
RB/C, en canal	1.11	1.29

*Elaboración con base en información de campo.

donde con y sin CZ, la diferencia fue de 29 g, 46 g/kg y 7.8%, respectivamente. La GDP aumentó 10.3% en el grupo CZ en relación con el testigo, en tanto que la eficiencia alimenticia representó 21.4% por efecto del anabólico. Estos resultados son similares a lo encontrado por Anaya et al. (2005), quienes no hallaron diferencias al utilizar concentraciones diferentes de CZ; sin embargo, Macías et al. (2013), al evaluar el efecto del CZ en corderas en dos épocas del año para una región de Mexicali, México, encontraron significancia en peso de la canal caliente, peso final, ganancia de peso y eficiencia alimenticia en primavera en relación con el verano, aunque no hubo efecto en el consumo de alimento.

En adición, Estrada et al. (2008) no encontraron efectos en peso final de ovinos por causa del CZ, pero sí en ganancia de peso, eficiencia alimenticia y rendimiento en canal, en relación con el testigo. Salinas et al. (2004) vieron diferencias ($P < 0.05$) en consumo de MS, ganancia de PV y eficiencia alimenticia en diferentes dosis de CZ en ovinos Pelibuey; Plascencia et al. (1999) en bovinos, reportaron que la adición de CZ tiene un efecto marcado sobre el comportamiento productivo, lo que se observó en el presente estudio. Por su parte, Salinas et al. (2006) encontraron que en ovinos Pelibuey el CZ no mejoró la ganancia de peso. Mondragón (2008) concluyó que el suministro del CZ en ovinos no afectó el comportamiento productivo, pero sí mejoró el área del *Longissimus dorsi*, perímetro de pierna, ancho de grupa, ancho y profundidad de tórax y disminuyó la grasa perirrenal de canales estudiadas; ello, sin duda alguna, constituye una alternativa que podría resultar rentable para quienes se dedican a esta actividad pecuaria.

Del total de los costos de producción, para el testigo y zilpaterol, la adquisición de la cordera Dorper-Pelibuey representó 71.3% y 68.0%; en tanto que la alimentación durante el periodo experimental fue el rubro con mayor participación relativa; esto es, 18.5% y 19.1%. El costo total de producción/cabeza con CZ fue mayor en 4.9% en relación con el testigo, al pasar de \$823.1 a \$863.8, en donde esa diferencia se debió al costo de inclusión del promotor de crecimiento en animales que consumieron la dieta; similar a lo encontrado por Rebollar (2011) en un trabajo sin CZ en una región del Estado de México, así como por Mondragón (2008) en una investigación sobre ovinos de Rambouillet con distintas cantidades de CZ.

La inclusión de CZ en la alimentación de las corderas mostró un incremento (Tabla 4) de la ganancia (en dinero) en relación con el grupo testigo, solamente en la venta en canal, al pasar de \$95.3 a \$247.2. La ganancia en pie del testigo fue mayor que la del zilpaterol. Resultados similares se encontraron por Rebollar (2011) para el caso del grupo testigo, donde el costo total fue cercano al ingreso por venta. La ganancia monetaria en canal fue más que el doble debido al efecto de la ganancia de peso generada por el CZ. Lo anterior también tuvo un efecto directo en el resultado de la relación beneficio-costo, tanto en pie como en canal; en donde se obtuvo un cociente mayor (de la RB/C) por la inclusión del CZ, lo que se constituyó en evidencia de rentabilidad por unidad monetaria invertida. Sin embargo, en la venta en canal hubo mayor ingreso que con la venta del animal en pie, la RB/C en canal con CZ se incrementó de 1.09 a 1.29 al realizar la venta en canal; de forma similar para el testigo.

El efecto en la ganancia de peso en los animales, generada por el CZ, implicó mayor rentabilidad por peso invertido en relación con el testigo. Esto es, mien-

tras que el costo de producción fue mayor con inclusión de CZ, se logró mayor peso tanto in vivo como de la canal y, por tanto, se mejoró el cociente de la RB/C. En sí, la inclusión del CZ en la dieta de los ovinos Dorper-Pelibuey mostró una rentabilidad en 16.2% superior a la del testigo por el incremento de RB/C. En adición, por efecto del CZ, por cada peso invertido se tuvieron 29 centavos en forma de beneficios, por la venta en canal. Finalmente, bajo las condiciones planteadas, el costo total de producción con CZ podría soportar un incremento máximo de 29% a fin de igualar el ingreso por venta y llegar al punto de capacidad de producción mínima económica, umbral de rentabilidad o equilibrio; mientras que en el testigo el costo total podría incrementarse hasta en 11% con el fin de lograr el punto de umbral de rentabilidad.

CONCLUSIONES

En las condiciones del presente estudio el clorhidrato de zilpaterol mejoró el comportamiento productivo en la engorda de corderas Dorper-Pelibuey en relación con el testigo. Si bien el costo total de producción con el agonista-beta fue mayor al del testigo, la mayor ganancia de peso por efecto de este implicó tanto mayor ingreso total como mayor ganancia y relación beneficio-costo. En adición, este trabajo demuestra que el uso del clorhidrato de zilpaterol en ovinos de razas de pelo representa una herramienta útil para incrementar la eficiencia biológica y económica, siempre y cuando se venda en canal; de lo contrario, los beneficios son marginales.

Agradecimientos

Los datos y resultados de este trabajo se derivaron del proyecto de investigación conjunta PROMEP-SEP 103.5/12/2126, a nivel de Red de Cuerpos Académicos: CA Sistemas de Producción Agropecuaria y Recursos Naturales (CA91-Centro Universitario UAEM Temascaltepec) y el CA Fisiología y Genética Animal (UABC).

LITERATURA CITADA

- ANAYA, A. D. L. et al. Comportamiento productivo de ovinos engordados en corral utilizando clorhidrato de zilpaterol en el alimento. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 13(1): 324-326, 2005.
- AVENDAÑO REYES, L. et al. Effects of two beta-adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 84: 3259-3265, 2006.
- AVENDAÑO REYES, L. et al. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass characteristics and whole yield cuts of hair-breed ewe lambs consuming feedlot diets under moderate environmental conditions. *Journal of Animal Science*, 84: 3259-3265, 2011.
- DOMÍNGUEZ, V. I. A. et al. Los B-agonistas adrenérgicos como modificadores metabólicos y su efecto en la producción, calidad e inocuidad de la carne de bovinos y ovinos: una revisión. *Ciencia Ergo Sum*, 16(3): 278-284, 2010.
- DUNSHEA, R. et al. Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Science*, 71: 8-38, 2005.
- ESTRADA, A. A. et al. Efecto del nivel de suplementación de clorhidrato de zilpaterol en la respuesta productiva y cortes primarios de la canal de ovinos en finalización. *Memorias XVI Congreso Nacional de Ovinocultura*, 2008.
- HARCOURT, I. *Principios de Economía. Microeconomía. Teoría y Práctica*. D. F., México: Editorial SITESA, S. A. de C. V. 326 pp., 1990.
- MACÍAS, C. U. et al. Crecimiento y características de canal en corderas tratadas con clorhidrato de zilpaterol durante primavera y verano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(1): 1-12, 2013.
- MONDRAGÓN, A. J. *Efecto de la concentración de clorhidrato de zilpaterol sobre el crecimiento, características de la canal y calidad de carne de ovinos en engorda intensiva*. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México. 77 pp., 2008.
- MONDRAGÓN, J. et al. Effects of feed supplementation of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs. *Acta Agri. Scand. Anim. Sci.*, 60(1): 47-52, 2010.
- NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Washington, DC: National Academy Press, 2000.
- PLASCENCIA, A. et al. Influence of the agonist, zilpaterol, on growth performance and carcass characteristics of feedlot steers. *Proc. American Society of Animal Science*, 50: 331-334, 1999.
- REBOLLAR, S. *Métodos para estimar costos de producción y rentabilidad. Experiencias y casos de estudios*. Madrid, España: Editorial Académica Española. 103 pp., 2011.
- REBOLLAR, S. et al. Óptimos económicos en corderos Pelibuey engordados en corral. *Universidad y Ciencia*, 24(1): 67-73, 2008.
- REBOLLAR, R. S. y JARAMILLO, J. M. *Formulación y evaluación de Proyectos. Aspectos básicos*. Madrid, España: Editorial Académica Española. 311 pp., 2012.
- SALINAS, C. J. et al. Effect of duration of zilpaterol hydrochloride treatment on carcass characteristics and weight gain in grazing Pelibuey Lambs. *Journal of Applied Animal Research*, 29: 25-28, 2006.
- SALINAS, C. J. et al. Influence of zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristics of Pelibuey lambs. *Journal of Applied Animal Research*, 26: 13-16, 2004.

Influencia de la temperatura y tipo de alimento en la historia de vida de *Ceriodaphnia cornuta* Sars (1885) (Crustacea: Cladocera)

Influence of temperature and food type on the life history of *Ceriodaphnia cornuta* Sars (1885) (Crustacea: Cladocera)

Ignacio Alejandro Pérez Legaspi^{1*}, Adriana Marisol García Villar¹, Mariana Garatachia Vargas¹, Martha Patricia Hernández Vergara¹, Carlos Iván Pérez Rostro¹, Luis Alfredo Ortega Clemente¹

Pérez Legaspi, I. A., García Villar, A. M., Garatachia Vargas, M., Hernández Vergara, M. P., Pérez Rostro, C. I., Ortega Clemente, L. A. Influencia de la temperatura y tipo de alimento en la historia de vida de *Ceriodaphnia cornuta* Sars (1885) (Crustacea: Cladocera). *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 11-18, enero-abril 2015.

RESUMEN

Los cladóceros son pieza clave en la red trófica, ya que contribuyen a la nutrición de especies acuáticas. Se determinó mediante tablas de vida el efecto de la temperatura (20, 25 y 30 °C) y tipo de alimento (*Nannochloris oculata*, *Scenedesmus obliquus* y *Selenastrum capricornutum*) en *Ceriodaphnia cornuta*. Resultados muestran la mayor longevidad y esperanza de vida a 20 °C sin importar el tipo de alimento. La tasa neta de reproducción es mayor a 25 °C y 30 °C, con *S. obliquus* y/o *S. capricornutum*. Según el valor reproductivo, la mayor tasa de fertilidad y fecundidad ocurre con *S. obliquus*. Los valores menores se registraron con *N. oculata*. La temperatura influye en mayor proporción que el alimento en la longevidad, fecundidad y fertilidad. Los resultados indican que este cladóceros tropical es viable para: a) desarrollar futuras pruebas de toxicología acuática, y b) alimento vivo para larvicultura con cualquiera de las microalgas probadas.

ABSTRACT

Cladocerans are key in the food web, contributing to nutrition of aquatic species. We determined the effect of temperature (20, 25, and 30 °C) and food

Palabras clave: cladóceros, planctónico, tabla de vida, microalgas, temperatura, valor reproductivo.

Keywords: cladoceran, planktonic, life table, microalgae, temperature, reproductive value.

Recibido: 18 de octubre de 2013, aceptado: 13 de junio de 2014

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Boca del Río.

* Autor para correspondencia: ialegaspi@yahoo.com

type (*Nannochloris oculata*, *Scenedesmus obliquus*, and *Selenastrum capricornutum*) on *Ceriodaphnia cornuta*. Results show greater longevity and life expectancy at 20 °C, regardless of the food type. However, net reproductive rate is greater at 25-30 °C, with *S. obliquus* and *S. capricornutum*. According to the reproductive value, the highest rate of fertility and fecundity occurs with *S. obliquus*. The lowest values were recorded with *N. oculata*. Temperature is more influential than type of food for: longevity, fecundity, and fertility. The most suitable microalgae for this cladoceran were *S. capricornutum* and *S. obliquus*. The results indicate this tropical cladoceran is viable for: a) developing aquatic toxicology tests, and, b) live feed for larviculture, with any of the microalgae tested.

INTRODUCCIÓN

Los cladóceros o pulgas de agua son crustáceos cosmopolitas, representativos de la comunidad planctónica dulceacuícola. Son importantes consumidores primarios que influyen en la transferencia de materia y energía en ecosistemas dulceacuícolas y son piezas clave en la red trófica (Dodson y Hanazato, 1995; Martínez Jerónimo y Ventura López, 2011; Vieira et al., 2011). *C. cornuta* Sars (1885) es un cladóceros común en ecosistemas dulceacuícolas tropicales y subtropicales (Villalobos y González, 2005; Kumar et al., 2008), se distribuye ampliamente debido a su tolerancia a variaciones de temperatura. *C. cornuta* tiene un desarrollo embrionario corto, con crecimiento rápido, gran longevidad, madurez sexual prematura y baja fecundidad (Villalobos y González, 2005). Sin embargo, existe poca información acerca de la influencia de factores ambientales como temperatura y alimento sobre su dinámica poblacional (Dehui, 1989).

Las tablas de vida son útiles para el aprovechamiento de poblaciones naturales, generan información sobre la influencia de las condiciones ambientales en la estructura poblacional de una especie, como edad específica, mortalidad, fecundidad, y biología reproductiva (Martínez Jerónimo y Ventura López, 2011). Savaş y Erdogan (2006) sugieren que el óptimo crecimiento poblacional de *Ceriodaphnia quadrangula* es a 30 °C, alimentado con la microalga *Scenedesmus acuminatus*, en donde es proporcional el aumento en la ingesta y la tasa de crecimiento. Sin embargo, la concentración y calidad del alimento influyen positiva o negativamente sobre la demografía de cladóceros planctónicos y litorales como *C. cornuta*, *Moina macrocopa*, *Pleuroxus aduncus* y *Simocephalus vetulus* durante su cultivo; de modo que concentraciones moderadas de *Chlorella vulgaris* favorecen su cultivo (Nandini y Sarma, 2000).

Por otro lado, *M. macrocopa* y *C. cornuta* mostraron mayor tiempo de generación, tasa reproductiva neta y esperanza de vida promedio al alimentarse con protistas (*Tetrahymena pyriformis* y *Colpoda steini*) que con *C. vulgaris* a 25 °C; sin mostrar diferencias en la longitud corporal (Kumar y Hwang, 2008). Es posible cultivar cladóceros con varios tipos de alimento, sin afectar significativamente su ciclo biológico. Otra opción nutritiva son exopolisacáridos de cianobacterias (*Anabaena spiroides*) con buenas tasas reproductivas y de crecimiento en *C. cornuta* a 25 °C, en comparación con el seston natural (Choueri et al., 2007). La producción de *C. cornuta* y *Ceriodaphnia dubia* a 25 °C muestra que ambas aceptan favorablemente alimento artificial fermentado a base de pescado, con buena producción de huevos y neonatos en 7 d (Dehui, 1989).

La dinámica poblacional en *Moina minuta*, *C. cornuta* y *Diaphanosoma spinulosum* a 25 °C indica que pueden usar diferentes tipos de alimento, incluso con deficiencias nutricionales de nitrógeno y/o fósforo en una mezcla de clorofitas (*Scenedesmus*, *Chlorella* y *Kirchneriella*), donde *C. cornuta* tiene mayor crecimiento en condiciones oligotróficas a mesotróficas (Vieira et al., 2011). Ferrão Filho et al. (2003) suministraron *Scenedesmus spinosus* deficiente en N y P a *Moina micrura*, *C. cornuta* y *Daphnia gessneri*, en donde mostrarán distintos efectos en la tasa de crecimiento y reproducción. Sin embargo, al suplementar la microalga con PUFA (ácidos grasos polinsaturados), EPA (ácido eicosapentanoico) y DHA (ácido docosahexanoico) aumentó la tasa

de crecimiento, indicador de que son nutrientes importantes en su dieta.

Además del alimento, la temperatura afecta la dinámica poblacional de los cladóceros al establecer rangos estrechos para su óptimo crecimiento, como *Daphnia magna* a 18-20 °C, *Daphnia longispina*, *Daphnia pulex* y *M. rectirostris* a 28-29 °C; *Moina macrocopa* 24-26 °C y *Moina brachiata* 8-13 °C (Torretera y Tacon, 1989). Es importante considerar que la temperatura y el alimento son factores que influyen en su desarrollo, tasa de crecimiento poblacional y reproducción (Savaş y Erdoğan, 2006; Martínez Jerónimo y Ventura López, 2011; Vieira et al., 2011). La mayoría de estudios poblacionales con cladóceros se enfocan en especies de regiones templadas del género *Daphnia* (Savaş y Erdoğan, 2006; Martínez Jerónimo y Ventura López, 2011), y son pocos con especies tropicales y subtropicales, lo cual puede aprovecharse como alimento vivo o en ensayos de toxicidad. El conocimiento de las necesidades ambientales de estos organismos permite cultivarlos con facilidad, además por su pequeño tamaño (0.2-18.0 mm de longitud) y facilidad de enriquecimiento nutricional son buenas alternativas para la alimentación de diversas especies acuícolas durante sus críticos estadios larvarios (Prieto, 2001). Aun así, solo unas especies como *D. magna*, *D. pulex*, *D. longispina*, *D. magna* Straus, *M. rectirostris*, *M. macrocopa*, *M. brachiata* y *Moina affinis* se emplean en la acuicultura por su alto contenido nutricional y facilidad de producción (Torretera y Tacon, 1989). El objetivo del presente estudio consiste en evaluar el efecto de la temperatura y tipo de alimento en la dinámica poblacional del cladóceros *C. cornuta* en condiciones de laboratorio, lo que contribuye al conocimiento de su biología reproductiva, genera información útil para su cultivo con futuras aplicaciones mediante pruebas de toxicidad, así como su cultivo masivo con aprovechamiento en la acuicultura.

MATERIALES Y MÉTODOS

El cladóceros *C. cornuta* se obtuvo del Sistema Lagunar de Alvarado, localizado en el municipio de Alvarado (18° 53'-18° 25' latitud norte y 95° 34' y 96° 08' longitud oeste), al suroccidente del Golfo de México y sureste del estado de Veracruz, México (Portilla Ochoa, 2003). Se recolectó mediante una red para zooplankton de 54 µm de diámetro. La pulga de agua fue identificada mediante las

claves taxonómicas de Elías Gutiérrez et al. (2008). Los organismos se aislaron mediante una pipeta de transferencia de plástico y se colocaron en pozas de placas de poliestireno con 24 pozas (Costar, Co., EE. UU.), añadiendo agua dulce artificial medio EPA (96 mg NaHCO_3 , 60 mg $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 60 mg MgSO_4 , y 4 mg KCl / L) a pH 7.5 (US EPA, 1985), se mantuvieron a una temperatura de 25 °C en iluminación continua y la microalga *S. obliquus* se suministró como alimento ad libitum. Se obtuvieron bastantes descendientes (neonatos) provenientes de 100 hembras partenogénicas seleccionadas del lote original de reproductores y se observaron al menos dos huevos asexuales en su cámara embrionaria, lo que permitió contar con neonatos necesarios para desarrollar los experimentos de tablas de vida.

Las tablas de vida comenzaron colocando un neonato de *C. cornuta* menor de 24 hr de edad por poza (n= 24 individuos) en una placa nueva de poliestireno. Cada tratamiento consideró una placa para cada tipo de alimento (*N. oculata*, *S. obliquus* y *S. capricornutum*) a una concentración de 1×10^6 cel/ml por poza. Estas microalgas fueron cultivadas en medio basal Bold (Nichols, 1973) con agua destilada a 20 °C. Posteriormente, cada placa fue expuesta por triplicado a una de las temperaturas a evaluar (20, 25 o 30 °C). Las placas se colocaron en baño María y se mantuvieron a la temperatura seleccionada mediante un termostato sumergible para acuario. Se observó cada 24 hr el número de organismos sobrevivientes (progenitores), y se transfirió a nuevo medio con alimento a la concentración correspondiente. Se registró el número de neonatos

producidos por cada progenitor por tratamiento. Las tablas de vida concluyeron hasta la muerte del último progenitor de cada tratamiento.

El análisis de datos comprendió la estimación de parámetros poblacionales como el intervalo de tiempo cada 24 horas (x), tiempo medio de generación (G), potencial reproductivo (Ro), tasa de incremento natural (r), esperanza de vida (ex), y valor reproductivo (Vx) (Begon et al., 1996). También mediante un micrómetro de retículo (10:100 Carl Zeiss) se estimó aleatoriamente el tamaño promedio de cladóceros a diferentes edades, alimentados con *S. obliquus* a 25 °C; se consideraron medidas como longitud total sin espina (LTs), longitud total con espina (LTc), longitud de la cabeza (LC) y amplitud máxima (AM). El análisis estadístico comprendió regresión entre supervivencia (lx) y esperanza de vida (ex) para cada tratamiento. Los datos se analizaron con el paquete STATISTICA 7.0 (StatSoft Inc., 2004), mediante ANOVA de una vía para cada temperatura y los tres tipos de alimento y, en caso de ser significativo ($p < 0.05$), se realizó una prueba de Tukey para identificar diferencias significativas entre las variables.

RESULTADOS

Las tablas de vida cohorte indican que en las condiciones evaluadas es posible reproducir al cladóceros *C. cornuta* mostrando de 1 a 8 huevos asexuales y neonatos fácilmente distinguibles en la cámara embrionaria (Figuras 1 y 6).

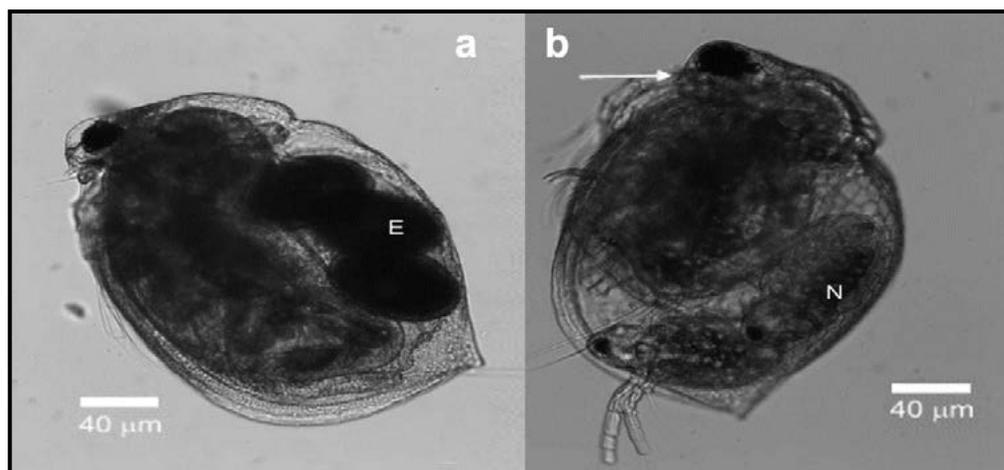


Figura 1. Hembras de *C. cornuta* (10x). a) Huevos asexuales en la cámara embrionaria (E); b) Neonatos (N) en el interior de la cámara embrionaria al momento de concebir, la flecha señala la proyección rostral característica de la especie. Fotografías de Jesús Alvarado Flores e Ignacio Alejandro Pérez Legaspi.

Los cladóceros mantenidos a 20 °C, sin importar el tipo de alimento suministrado, mostraron los valores más altos para x (tiempo), ex (esperanza de vida), G (tiempo de generación), y r (tasa intrínseca de incremento natural); estos fueron mayores al suministrar *S. capricornutum* (Figura 2).

El potencial reproductivo (R_0) incrementó al aumentar la temperatura con las tres microalgas suministradas como alimento, en donde los cladóceros a 30 °C presentaron los valores más altos. No obstante, los valores ($p < 0.001$) más altos para la tasa intrínseca de incremento natural (r) se obtuvieron a 20 °C, probablemente por la longevidad, en donde fue mayor con *S. capricornutum* (Tabla 1).

La mayor longevidad registrada en *C. cornuta* fue por 41 d a una temperatura de 20 °C, sin importar el tipo de alimento suministrado (Figura 2, Tabla 1);

mientras que la menor longevidad de *C. cornuta* es de 15 a 16 d al alimentarse con *N. oculata* a 25 °C y 30 °C (Figuras 3 y 4). Asimismo, es notable que la producción más baja de neonatos se observe al suministrar esta microalga a cualquier temperatura evaluada.

En los organismos expuestos a 30 °C se reconoce incremento de fertilidad entre los tratamientos, se mostró la mayor producción de descendientes a partir del primer día (24 hr de edad) del organismo (Figura 4). Los niveles más altos de valor reproductivo (V_x) se obtienen al alimentar a *C. cornuta* con *S. obliquus* con una longevidad de 30 d. También, a 20 °C se registra una producción similar de neonatos al alimentarse con *S. capricornutum* y *S. obliquus*. Sin embargo, la producción de neonatos se alcanza a partir del día 7 (168 hr).

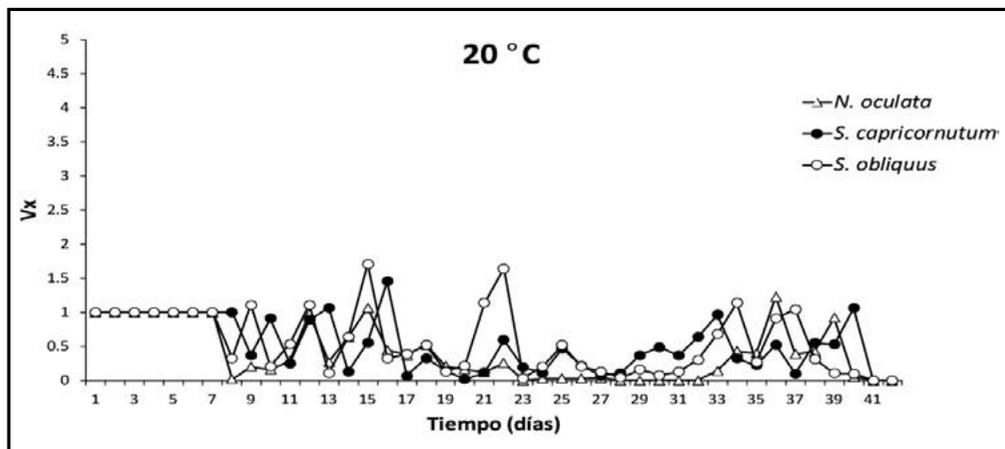


Figura 2. Influencia de diferentes microalgas (1×10^6 cel/ml) como alimento sobre el valor reproductivo (V_x) de *C. cornuta* cultivada a 20 °C.

Tabla 1. Tabla de vida cohorte en el cladóceros *C. cornuta* expuesto a diferentes temperaturas y tipos de alimento

Temperatura (°C)	Alimento	X	ex	G	r	R_0	λ
20	<i>N. oculata</i>	41	21.56	22.86	0.1090	9.7896	1.115
	<i>S. capricornutum</i>	41	26.80	24.59	0.9910	16.14	2.693
	<i>S. obliquus</i>	41	20.83	21.42	0.1001	16.45	1.105
25	<i>N. oculata</i>	16	8.15	7.12	0.0048	1.24	1.004
	<i>S. capricornutum</i>	30	9.81	19.37	0.2540	9.11	1.289
	<i>S. obliquus</i>	30	15.38	14.93	0.1347	19.75	1.144
30	<i>N. oculata</i>	15	10.40	6.81	0.0461	10.51	1.047
	<i>S. capricornutum</i>	25	11.05	9.49	0.0868	18.19	1.090
	<i>S. obliquus</i>	26	11.69	8.48	0.0898	32.07	1.093

Abreviaturas: X (días), ex (esperanza de vida), G (tiempo de generación), r (tasa de incremento natural), R_0 (potencial reproductivo), I = (índice finito de incremento).

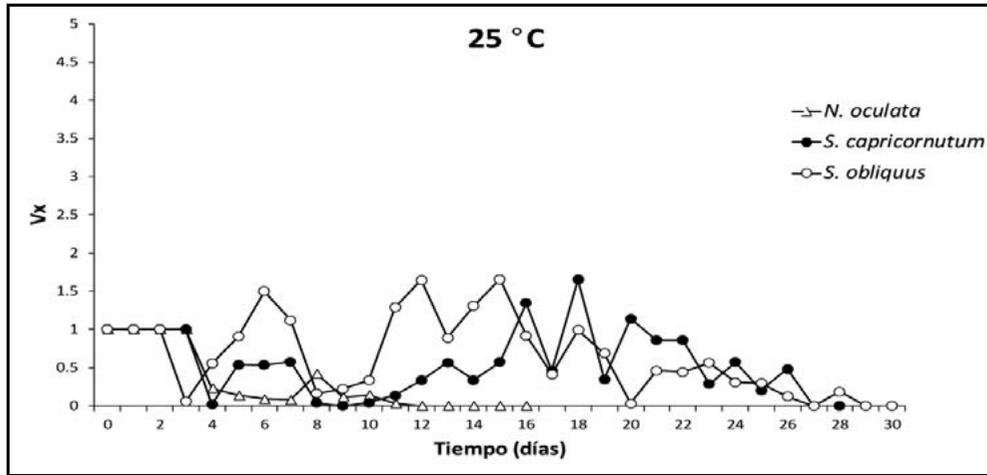


Figura 3. Influencia de diferentes microalgas (1×10^6 cel/ml) como alimento sobre el valor reproductivo (V_x) de *C. cornuta* cultivada a 25 °C.

Tabla 2. Resultados del análisis de ANOVA del potencial reproductivo (R_0) de *C. cornuta* con tres tipos de microalga como alimento a temperaturas diferentes: (SC) Suma de cuadrados, (gl) grados de libertad, (CM) cuadrados medios, (F) proporción de F, (p) valor de $p < 0.05$

Variable	SC	gl	CM	F	p
20 °C	161.057	2	80.529	4.2860	0.0698
	112.732	6	18.789		
25 °C	938.624	2	469.312	110.7627	0.00001
	25.423	6	4.237		
30 °C	93.2038	2	46.6019	16.1582	0.0038
	17.3046	6	2.8841		

Tabla 3. Caracterización morfológica de *C. cornuta* a diferentes edades alimentada con *S. obliquus* a 25 °C

	Edad (hr)											
	0	< 1	< 2	< 14	24	< 72	< 96	< 120	< 144	< 168	< 192	Adulta*
LTs	266±14	274±14	288±33	301±26	304±21	315±18	350±26	389±38	395±20	408±37	412±24	495±22
LTc	337±27	321±24	338±22	364±31	370±19	367±29	404± 39	445±60	459±22	459±36	482±23	576±30
LC	47±6	46±4.8	49±5.3	59±8.1	49±7	58±11	62±6.7	63±6.9	63±4.8	75±14	70±5.6	72 ±7.8
AM	212±18	227±17	222±13	195±17	224±34	202±21	249±42	319±37	331±15	281±34	345±20	415±25
n	10	10	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Abreviaciones: (LTs) longitud total sin espina, (LTc) longitud total con espina, (LC) longitud de la cabeza, (AM) amplitud máxima (valores en μm). * Individuos tomados al azar, n: número de individuos.

La caracterización morfológica de *C. cornuta* a distintas edades se muestra en la Tabla 2, en donde se observa que a partir de las 0 hr el organismo tiene una longitud total sin espina (LTs) de $266.6 \pm 14.9 \mu\text{m}$, longitud de la cabeza (LC) de $47.6 \pm 6.3 \mu\text{m}$, amplitud máxima (AM) de $212.2 \pm 18.8 \mu\text{m}$; y alcanzó aproximadamente el tamaño promedio adulto a partir de las 144 hr (6 d).

Los coeficientes de determinación (R^2) entre la sobrevivencia (lx) y la esperanza promedio de vida (ex) se expresan en la Tabla 3, en donde se muestra que la mayor correlación es a 25 °C con las tres microalgas.

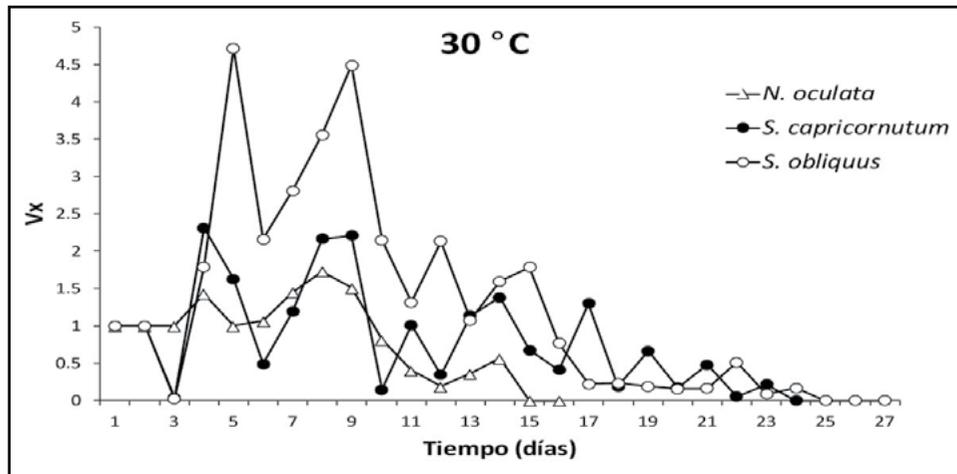


Figura 4. Influencia de diferentes microalgas (1×10^6 cel/ml) como alimento sobre el valor reproductivo (V_x) de *C. cornuta* cultivada a 30°C .

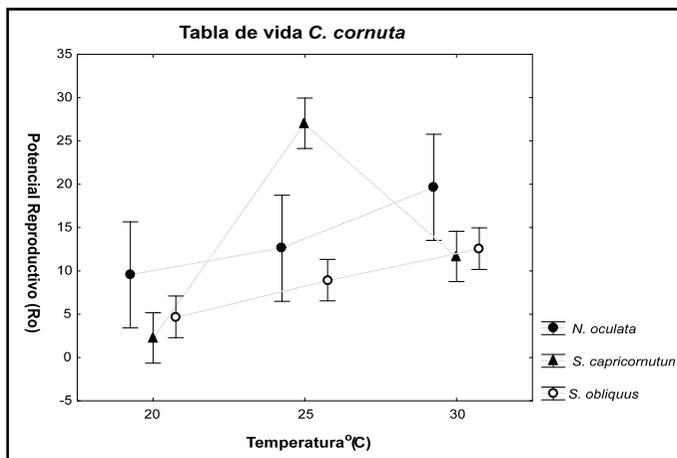


Figura 5. Gráfica que muestra la influencia de las tres temperaturas y el tipo de alimento sobre el valor reproductivo (R_o) de *C. cornuta*.

Tabla 4. Coeficiente de determinación (R^2) entre la sobrevivencia (lx) y la esperanza media de vida (ex) para todos los tratamientos evaluados

Alga (1×10^6 cel/ml)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)		
	20	25	30
<i>N. oculata</i>	0.5136	0.8051	0.6971
<i>S. capricornutum</i>	0.4650	0.7324	0.6808
<i>S. obliquus</i>	0.4759	0.6090	0.6357

la reproducción de *C. cornuta*, con *S. capricornutum* y/o *S. obliquus* como las especies que ofrecen la mayor esperanza de vida, tiempo de generación, tasa de incremento natural y potencial reproductivo en comparación con *N. oculata* para cualquier temperatura evaluada. Además, los parámetros poblacionales más bajos se registraron cuando *C. cornuta* es alimentada con *N. oculata* en las tres temperaturas probadas (Tabla 1, figuras 2, 3, y 4), lo que indica que el tipo de alimento es un factor que influye en la longevidad y reproducción de *C. cornuta* (Figura 5).

En contraste, las microalgas *S. capricornutum* y *S. obliquus* ofrecen mayor aprovechamiento al favorecer la reproducción de *C. cornuta*. Estas diferencias pueden deberse a la calidad nutricional de cada microalga suministrada. Se ha reportado que cladóceros con deficiencias nutricionales muestran lento crecimiento y bajas tasas reproductivas (Choueri et al., 2007), por lo que una estrategia de vida consiste en invertir su energía en sobrevivencia. Por tanto, no todas las especies de microalgas proporcionadas como alimento son aprovechadas para todas las especies de cladóceros. También

DISCUSIÓN

Este estudio muestra la factibilidad de cultivar la pulga de agua tropical *C. cornuta* (Sars, 1885) en condiciones de laboratorio. Para hacerlo, es conveniente mantener temperaturas de 30°C y una alimentación basada en microalgas como *S. capricornutum* y *S. obliquus*, siendo posible obtener elevadas tasas de reproducción de acuerdo al valor reproductivo (figuras 4 y 5). Villalobos y González (2005) mencionan que la disponibilidad de alimento y temperaturas elevadas son factores que influyen en la fecundidad de *C. cornuta*. Por tanto, la temperatura en combinación con el alimento apropiado influyen en la longevidad, potencial reproductivo y sobrevivencia de *C. cornuta* determinando las condiciones de cultivo. La microalga como alimento influye directamente en

se debe considerar la concentración de alimento suministrado.

Nandini y Sarma (2000, 2003) mencionan que altas concentraciones de microalgas como *C. vulgaris* afectan negativamente la historia de vida de *C. cornuta* al disminuir su fecundidad, a pesar de incrementar la reproducción en otros cladóceros como *Alona rectangula*, *C. dubia*, *Daphnia laevis*, *Diaphanosoma brachyurum*, *M. macrocopa*, *Scapholeberis kingi* y *S. vetulus*. Esto sugiere que es conveniente considerar la especie de cladóceros, así como el tipo de alimento y concentración apropiada a suministrar durante su cultivo.

En el presente estudio se registran los valores más altos en longevidad, esperanza de vida y tasa de incremento natural para *C. cornuta* a 20 °C (Tabla 1, figuras 2, 3 y 4), esto puede deberse a que temperaturas bajas como 20 °C ocasionan que este cladóceros opte como estrategia de vida ser más longevo, con mayor probabilidad de esperanza de vida y sobrevivencia, pero con tasas de reproducción bajas. Por tanto, altos valores en la tasa de crecimiento natural "r" a 20 °C pueden estar relacionados con la gran longevidad del cladóceros en esta temperatura. Villalobos y González (2005) mencionan que *C. cornuta* tiene la posibilidad de disminuir su fecundidad al demorar su madurez sexual y compensarla con pocos estadios adultos e incrementar su longevidad. *C. cornuta* es capaz de tolerar un amplio rango de temperatura si el alimento es favorable como *S. capricornutum*, al invertir la mayoría de su energía metabólica en sobrevivir en lugar de reproducirse y mantener su potencial reproductivo por grandes periodos (Villalobos y González, 2005), lo que permite colonizar nuevos ambientes.

Los mayores valores reproductivos (V_x) de *C. cornuta* se observan a 30 °C con *S. capricornutum* y *S. obliquus* en donde muestra una reproducción prematura desde las 48 hr, con la máxima producción a partir de los 4 d de edad. Sin embargo, a 20 °C y 25 °C la reproducción comienza a partir de 7 a 8 d (Figura 2). Es posible que la reproducción de esta especie pueda ser estimulada por el aumento en la temperatura. Villalobos y González (2005) reportan que este cladóceros puede invertir rápidamente la energía disponible en su madurez reproductiva. Incluso la duración de los estadios disminuye al aumentar la temperatura, con poca influencia por el tipo de alimento en la duración de los estadios



Figura 6. Pulga de agua *C. cornuta* con su proyección rostral típica y posabdomen con garra (superior izquierda), huevo asexual en su cámara embrionaria (inferior izquierda) y neonatos durante su nacimiento (derecha). Fotografías de Jesús Alvarado Flores e Ignacio Alejandro Pérez Legaspi.

adultos (Amarasinghe et al., 1997), por lo que una vez que *C. cornuta* alcanza su madurez sexual invierte su energía en la producción de huevos y crecimiento (Villalobos y González, 2005). Por tanto, temperaturas como 30 °C con el alimento apropiado pueden estimular un crecimiento rápido y alcanzar la madurez rápidamente.

CONCLUSIONES

Con base en los datos generados en este estudio sobre la biología reproductiva del cladóceros *C. cornuta* es posible establecer las condiciones óptimas de cultivo en cualquiera de las tres temperaturas evaluadas en combinación con *S. capricornutum*. Además, en condiciones de laboratorio y temperaturas de 30 °C es posible incrementar la tasa de reproducción a edades tempranas, en donde se obtienen grandes densidades. Esto, aunado a su pequeño tamaño hace posible considerarlo como buen candidato para cultivarlo de manera intensiva y aprovecharlo en larvicultura de peces y crustáceos con interés económico en acuicultura. Sin embargo, es conveniente realizar estudios que evalúen su cultivo en exteriores, así como su valor nutricional y aceptación como alimento vivo.

Agradecimientos

El apoyo para la realización de este proyecto fue otorgado por el Programa de Mejoramiento del Profesorado (Promep-NPTC) con clave ITBOR-

PTC-004. Ignacio Alejandro Pérez Legaspi agradece el apoyo otorgado por el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del CONACyT, expediente 49351.

LITERATURA CITADA

- AMARASINGHE, P. et al. The effect of temperature, and food quantity and quality on the growth and development rates in laboratory-cultured copepods and cladocerans from Sri Lankan reservoir. *Hydrobiologia*, 350: 131-144, 1997.
- BEGON, M. et al. *Ecology: Individuals, Populations, and Communities*. 3 ed., Blackwell Scientific. 1068 pp., 1996.
- CHOUERI, R. B. et al. Effects of cyanobacterium exopolysaccharides on life-history of *Ceriodaphnia cornuta* SARs. *Journal of Plankton Research*, 29(4): 339-345, 2007.
- DEHUI, Z. Growth, reproduction and population growth of *Ceriodaphnia cornuta* Sars and comparison of 7-day fecundity with *Ceriodaphnia dubia* Richard. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 7(2): 105-111, 1989.
- DODSON, S. I. y HANAZATO, T. Commentary on Effects of Anthropogenic and Natural Organic Chemicals on Development, Swimming Behavior, and Reproduction of *Daphnia*, a Key Member of Aquatic Ecosystems. *Environmental Health Perspectives*, 103(4), 1995.
- ELÍAS GUTIÉRREZ, M. et al. *Cladocera y Copepoda de las aguas continentales de México*. Guía ilustrada. México: UNAM, pp. 322, 2008.
- FERRÃO FILHO, A. S. et al. Effects of essential fatty acids and N and P-limited algae on the growth rate of tropical cladocerans. *Freshwater Biology*, 48: 759-767, 2003.
- KUMAR, R. y HWANG, J. S. Ontogenic shifts in the ability of the cladoceran, *Moina macrocopia* Straus and *Ceriodaphnia cornuta* Sars to utilize ciliated protists as food source. *International Review of Hydrobiologia*, 93(3): 284-296, 2008.
- MARTÍNEZ JERÓNIMO, F. y VENTURA LÓPEZ, C. Population dynamics of the tropical cladoceran *Ceriodaphnia rigaudi* Richard, 1894 (Crustacea: Anomopoda). Effect of food type and temperature. *Journal of Environmental Biology*, 32: 513-521, 2011.
- NANDINI, S. y SARMA, S. S. S. Lifetable demography of four cladoceran species in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) density. *Hydrobiologia*, 435: 117-126, 2000.
- NANDINI, S. y SARMA, S. S. S. Population growth of some genera of cladocerans in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) levels. *Hydrobiologia*, 491: 211-219, 2003.
- NICHOLS, H. W. Growth media-freshwater. En J. R. Stein (Ed.), *Handbook of Phycological Methods*. Cambridge University Press, pp. 7-24, 1973.
- PORTILLA OCHOA, E. *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)*, 2003.
- PRIETO, M. Aspectos reproductivos del cladóceros *Moinodaphnia* sp. en condiciones de laboratorio. *Revista MVZ Córdoba*, 6(002): 102-110, 2001.
- SAVAŞ, S. y ERDOĞAN, Ö. The Effect of Food (*Scenedesmus acuminatus* (von Lagerheim) R. H. Chodat) Densities and Temperature on the Population Growth of the Cladoceran *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. Muller, 1785). *Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, (1-2): 113-116, 2006.
- TORRENTERA, L. y TACON, A. G. J. Cultivo de microcrustáceos de agua dulce. En *La producción de alimento vivo y su importancia en la acuicultura*. Programa Cooperativo Gubernamental FAO-Italia, 1989.
- US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents to Freshwater and Marine Organisms*. EPA-600/4-85-013. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, p. 159, 1985.
- VIEIRA, A. C. B. et al. Population dynamics of *Moina minuta* Hansen (1899), *Ceriodaphnia cornuta* Sars (1886), and *Diaphanosoma spinulosum* Herbst (1967) (Crustacea: Branchiopoda) in different nutrients (N and P) concentration ranges. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 23(1): 48-56, 2011.
- VILLALOBOS, M. J. y GONZÁLEZ, E. J. Estudios sobre la biología y ecología de *Ceriodaphnia cornuta* Sars: Una revisión. *Interciencia*, 31(5): 351-357, 2005.

Insectos potencialmente comestibles del estado de Aguascalientes, México

Potentially edible insects of the state of Aguascalientes, Mexico

Lizeth Puga Ayala¹, Jaime Escoto Rocha^{*}

Puga Ayala, L., Escoto Rocha, J. Insectos potencialmente comestibles del estado de Aguascalientes, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 19-25, enero-abril 2015.

RESUMEN

Los insectos representan una alternativa para la alimentación humana, dados su alto contenido proteico, abundancia y fácil recolección. En algunas localidades de México forman parte de los hábitos tradicionales de alimentación; sin embargo, hay estados como Aguascalientes que requieren más estudios y propuestas alternativas de alimentación. En este trabajo se muestrearon 24 localidades ubicadas en los 11 municipios del estado de Aguascalientes; se realizó la recolecta directa de hexápodos con importancia entomofágica y la aplicación de 240 encuestas sobre el conocimiento y hábitos entomofágicos de sus habitantes.

El presente estudio aporta el conocimiento de 32 especies de insectos potencialmente comestibles del estado de Aguascalientes y el orden Hymenoptera fue el que presentó mayor riqueza de especies, sus familias Formicidae y Apidae las que tuvieron la más amplia distribución. Aguascalientes, Calvillo, Jesús María y San José de Gracia son los

Palabras clave: insectos, antroponentomofagia, Aguascalientes.

Keywords: insects, antroponentomophagy, Aguascalientes.

Recibido: 6 de noviembre de 2013, aceptado: 22 de agosto de 2014

¹ Departamento de Biología, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

* Autor para correspondencia: jerjaem@yahoo.com

municipios que tuvieron la mayor riqueza de especies y Aguascalientes, Jesús María, El Llano y Asientos los que poseen más conocimiento entomofágico.

ABSTRACT

The insects represent an alternative case as human food because of their high protein level, abundance and easy recollection. In some localities of Mexico they are part of the traditional habits of alimentation; however, there are states as Aguascalientes, which require more studies and food alternatives. In this work we sampled 24 localities in the 11 municipalities of the Aguascalientes state; collecting insects of entomophagic importance and applied 240 surveys to document the knowledge and entomophagic habits of the habitants. The present study list 32 species of potentially edible insects in Aguascalientes state, being the order Hymenoptera the one who presented more species richness and their families Formicidae and Apidae the most widely distributed. Aguascalientes, Calvillo, Jesus Maria and San Jose de Gracia were the municipalities that had the highest species richness and Aguascalientes, Jesus Maria, El Llano and Asientos the ones who possess more entomophagic knowledge.

INTRODUCCIÓN

Es conocido que las costumbres culinarias varían entre las diferentes regiones del planeta y que han ido cambiando con el paso del tiempo; sin embargo, uno de los alimentos que han sido y continúan siendo

parte de nuestra dieta son los insectos. De acuerdo con Ramos Elorduy et al. (2007), actualmente la entomofagia se practica tanto en los países desarrollados como en los subdesarrollados; en los primeros como una alternativa culinaria exótica (Figura 1 c) y en los segundos como un alimento para sobrevivir que forma parte de sus costumbres tradicionales. Landeros Torres et al. (2005) señalan que el consumo de insectos es mayor en las áreas rurales, donde forman parte de los hábitos tradicionales de alimentación, en donde contribuyen con su aporte nutricional de una manera significativa. La entomofagia se ha ido perdiendo paulatinamente, sobre todo en los niños de áreas urbanas, debido a la introducción al mercado de productos que afectan la elección de las personas y provocan el olvido de los alimentos tradicionales (que suelen ser mucho más saludables) como los insectos, de alto contenido proteico (Gullan y Cranston, 1994).

Costa y Ramos Elorduy (2006) mencionan que en Brasil los insectos tienen importancia como recurso alimenticio para 39 grupos indígenas y comunidades urbanas. Gullan y Cranston (1994) señalan, por su parte, que aproximadamente hay 500 especies de insectos distribuidas en más de 260 géneros y 70 familias, las cuales son utilizadas como comida en algunas partes del mundo; especialmente en la parte central y sureste de África, Asia, Australia y Latinoamérica. Existe una gran cantidad de insectos comestibles en México, Ramos Elorduy y Pino (2004) afirman que solo del orden Coleoptera se tienen registradas 126 especies comestibles. Ramos et al. (2009) reportan que en muchas regiones de México en la actualidad la recolección de insectos y su comercialización se han convertido en una fuente de ingresos económicos para sus habitantes, como sucede en el Estado de México.

Uno de los principales problemas que afectan a la humanidad y en particular a nuestro país es la falta de una buena nutrición. En la República Mexicana se observan serias carencias dietéticas, ya que no se cubren los requerimientos de nutrimentos necesarios ni siquiera en calorías; por tanto, existe una deficiencia calórico-proteica. Este fenómeno se presenta en diversas magnitudes en los diversos estados de la República Mexicana (Ramos Elorduy et al., 1984). Por esta razón la entomofagia se podría ver como alternativa para una mejor alimentación e ingreso económico, además de ayudar a la mejora nutricional, principalmente en las áreas rurales; sin embargo, para poder implementar

lo anterior, se requiere conocer las especies de insectos comestibles en los estados donde no han sido estudiados, como es el caso de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Nuevo León, Coahuila, Tamaulipas, Durango y Sinaloa (Ramos Elorduy y Pino, 1989); para después pasar a su reproducción, recolección y venta.

El presente estudio tuvo como finalidad conocer las especies de insectos importantes como una alternativa proteica para la población del estado de Aguascalientes, al determinar las áreas geográficas de procedencia de los insectos para fomentar su explotación racional y consumo; además de obtener información sobre los hábitos entomofágicos de los habitantes del estado de Aguascalientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en el estado de Aguascalientes que tiene una extensión territorial de 5,616 km²; colinda al norte, noreste y oeste con Zacatecas; al sureste y sur con Jalisco. Se ubica en los 22° 27' y los 21° 38' de latitud norte y en los 101° 53' y 102° 52' de longitud oeste. La temperatura media anual promedio del estado es de 17.4 °C. El clima predominante del estado es de tipo semiseco (BS₁), con una precipitación pluvial media de 526 mm, en donde coincide el periodo de lluvias con la estación de verano. La vegetación en la montaña está representada por encino, pino y cedro; en los valles nopal, cardón, duraznillo, palma, sotol, huisache y mezquite. La altitud oscila desde los 1,850 m.s.n.m. en el valle hasta los 3,050 m.s.n.m. en la Sierra Fría (INEGI, 2012).

Se realizó la revisión de los ejemplares de hexápodos de la colección entomológica del Departamento de Biología para localizar ejemplares del estado con importancia alimenticia, se tomaron datos sobre el lugar de recolecta y su taxonomía. Además, se realizaron 24 visitas al mismo número de localidades ubicadas dentro de los 11 municipios del estado de Aguascalientes; las cuales fueron elegidas según el número de habitantes del poblado (localidades con menos de ciento cincuenta personas), esto en razón de una mayor probabilidad de la existencia de costumbres entomofágicas y también debido a que se aplicaron un mínimo de 10 encuestas en cada localidad con el fin de obtener información directa sobre las costumbres entomofágicas de los habitantes y así contar con

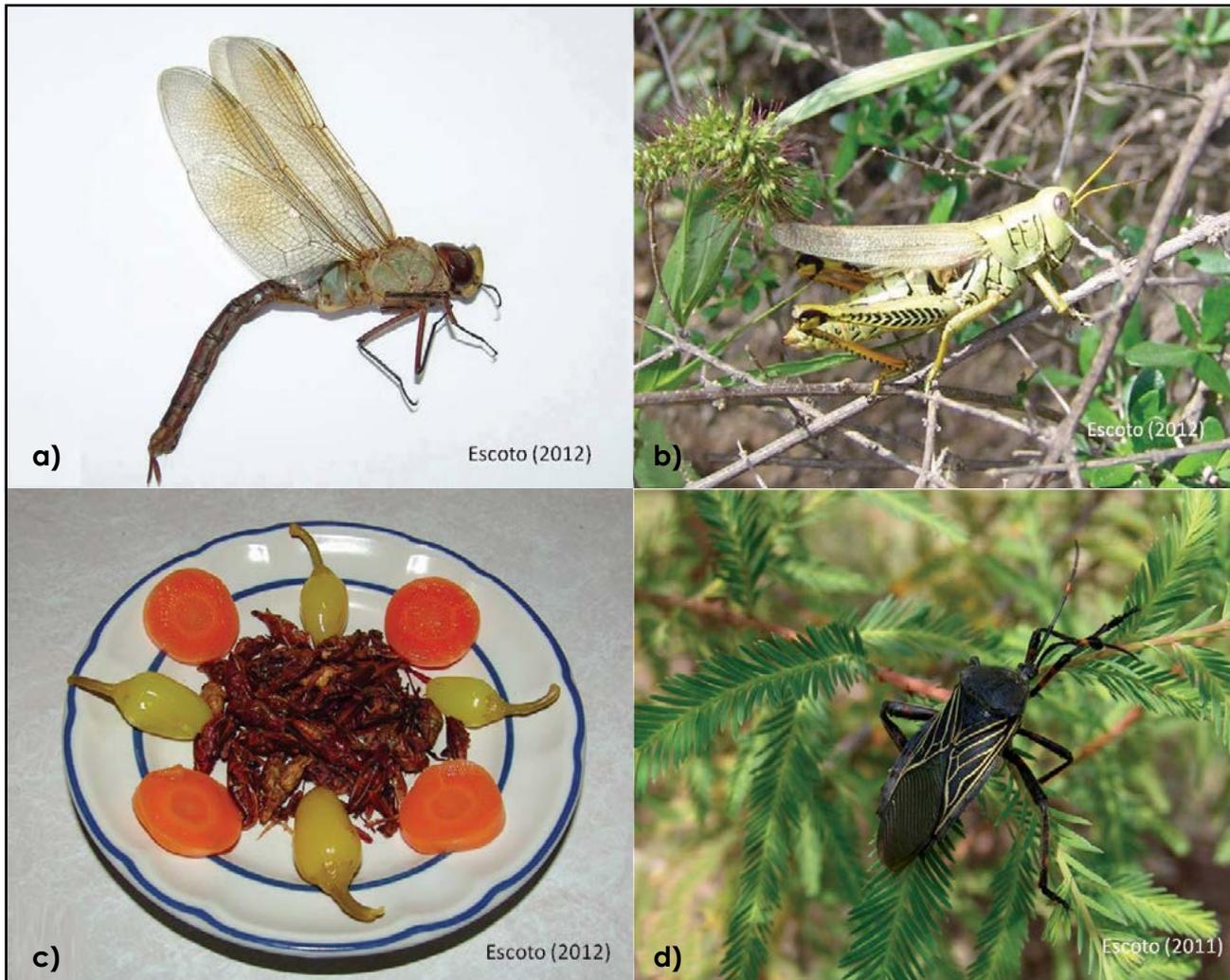


Figura 1. Insectos comestibles de Aguascalientes. a) Odonato (*Anax junius*), b) Ortóptero (*Melanoplus differentialis*), c) Platillo de chapulines enchilados con zanahoria y chile amarillo y d) Hemíptero (*Thasus gigas*).

información de 10% de los pobladores de cada localidad.

Al concluir el llenado de encuestas se realizó una recolección directa de insectos de la zona con ayuda de una red entomológica y pinzas; los ejemplares se fijaron y conservaron en cámaras de alcohol al 70% para trasladarlos al área de procesamiento de material de la colección zoológica del Departamento de Biología para su identificación taxonómica, se analizaron los ejemplares al microscopio estereoscópico y se utilizaron diversas fuentes de literatura para el proceso taxonómico, tales como Arnett (1985), Arnett y Jacques (1981), Arnett et al. (2002), Bolton (1994), Dillon y Dillon (1972), Fernández (2003), Kamminga et al. (2009), Schuh y Slater (1995), y Slater and Baranowski (1978), entre otras.

Las localidades visitadas fueron la Ex Hacienda de Peñuelas (Aguascalientes), Vista Alegre (Aguascalientes), La Gloria (Asientos), Los Encinos (Asientos), La Fragua (Calvillo), Piedras Chinas (Calvillo), La Punta (Cosío), San Gerónimo (El Llano), La Unión (El Llano), Los Conos (El Llano), La Tomatina (Jesús María), El Maguey (Jesús María), El Milagro (Pabellón de Arteaga), Garabato (Pabellón de Arteaga), Escaleras (Rincón de Romos), El Salitrillo (Rincón de Romos), La Esperanza (Rincón de Romos), La Providencia (San Francisco de los Romo), Rancho Nuevo (San Francisco de los Romo), El Tepetate (San Francisco de los Romo), San José de Gracia (San José de Gracia), Rancho Viejo (San José de Gracia), El Carmen (Tepezalá) y El Águila (Tepezalá).

Para determinar las áreas de distribución de los ejemplares comestibles depositados en la colección entomológica de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, se tomó registro del lugar de recolecta y con la ayuda de programas informáticos como Google Earth, Google maps y del INEGI, se determinaron las coordenadas de las localidades dentro del mapa. Finalmente, se procedió a realizar el montaje y etiquetado de los ejemplares recolectados con importancia comestible, los cuales

están depositados en la Colección Entomológica del Departamento de Biología de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

RESULTADOS

El presente estudio aporta el conocimiento de 32 especies con importancia alimenticia, ubicadas en 24 géneros, 17 familias y 6 órdenes (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de órdenes, familias y especies con importancia alimenticia en el estado de Aguascalientes

Orden	Familia	Especie	Municipios
Odonata	Aeschnidae	<i>Anax junius</i>	Ags.
Orthoptera	Acrididae	<i>Melanoplus differentialis</i>	Ags., Cal., J.M., P. de A. y S.J. de G.
	Gryllidae	<i>Achaeta domesticus</i>	Ags., Cal., J. M. y R de R.
	Stenopelmatidae	<i>Stenopelmatus fuscus</i>	Ags., Cal., S. F. de R. y S.J. de G.
	Tettigonidae	<i>Scudderia furcata</i>	Ags.
Hemiptera	Belostomatidae	<i>Scudderia mexicana</i>	Ags.
		<i>Abedus indentatus</i>	Ags. y Cal.
	Coreidae	<i>Acanthocephala declivis</i>	Ags., Cal., J. M. y Tep.
		<i>Acanthocephala femorata</i>	Ags. Cal., E. LI. y J. M.
		<i>Thasus gigas</i>	Ags. Cal., J. M., S. F. de R., S. J. de G. y Tep.
Pentatomidae	<i>Euschistus tristigmus</i>	Ags., P. de A. y S. F de R.	
Homoptera	Cicadidae	<i>Tibicen rudis</i>	Ags. y Cal.
	Membracidae	<i>Hoplophorion disparipes</i>	Ags., Cal., E. L. y J.M.
		<i>Umbonia crassicornis</i>	Ags.
		<i>Umbonia orizibaje</i>	Ags. y J.M.
Coleoptera	Hydrophilidae	<i>Berosus striatus</i>	Cal.
	Tenebrionidae	<i>Eleodes armata</i>	Ags., E. LI. y J.M.
	Melolonthidae	<i>Chrysina macropus</i>	Ags., Cal. y S. J. de G.
		<i>Phyllophaga batillifer</i>	Ags., Cal., P. de A. y S.J. de G.
		<i>Phyllophaga ravidia</i>	Ags., Cal., J. M., S.J.G., y R.R.
		<i>Phyllophaga obsoleta</i>	Ags. y E. LI.
<i>Strategus aloeus</i>	Ags., Cal. y S.J. de G.		
Hymenoptera	Apidae	<i>Apis mellifera</i>	Ags., Asi., Cal., Cos., E. LI., J. M., P. de A. S. J. de G., S. F. de R., R. de R. y Tep.
	Sphecidae	<i>Ammophila procera</i>	Ags., Cal. J.M., S.J. de G y R. de R.
	Vespidae	<i>Polistes canadensis</i>	Ags., Cal. J.M., P. de A. y S. J. de G.
		<i>Polistes instabilis</i>	Ags., J.M., P. de A., R.R. y Tep.
	Formicidae	<i>Atta mexicana</i>	Ags. y J.M.
		<i>Atta texana</i>	Ags., Cal., J. M., P. de A., S. F. de R. y S. J. de G.
		<i>Camponotus ferrugineus</i>	Ags., Cal. Y J.M..
		<i>Myrmecocystus melliger</i>	Cal. y S.J.G.
		<i>Pogonomyrmex barbatus</i>	Ags., Asi., Cos., E. LI., S. F. de R. y R. de R.
<i>Pogonomyrmex rugosus</i>	Ags. y Cal.		

Ags.= Aguascalientes, Asi.= Asientos, Cal.= Calvillo, Cos.= Cosío, E. LI.= El Llano, J. M.= Jesús María, P. de A.= Pabellón de Arteaga, R. de R.= Rincón de Romos, S. F. de R.= San Francisco de los Romo, S. J. de G.= San José de Gracia y Tep.= Tepezalá.

Hymenoptera fue el orden con mayor riqueza de especies, sus familias Formicidae y Vespidae las más diversas, Apidae y Vespidae las que tuvieron la mayor distribución en el estado. Los municipios de Aguascalientes, Calvillo, Jesús María y San José de Gracia registraron una mayor riqueza de especies que el resto. Por contraparte, Odonata con *Anax junius* llamada libélula verde (Figura 1a) solo presentó esta especie distribuida únicamente en el municipio de Aguascalientes.

A partir del análisis realizado en las 248 encuestas aplicadas, un 93.9% de los encuestados manifestó que nunca han consumido un insecto y un 6.0% que sí lo ha hecho; de estos últimos un 42.1% ha consumido chapulines, otro 42.1% gusanos, un 5.2% hormigas y un 10.2% otros. De los que han consumido, 60% ha consumido de la región y 40% de otras regiones del país. Por otra parte, 53.3% no sabe prepararlos y 46.6% sí. Respecto al conocimiento de lugares donde hay insectos comestibles, 73.3% mencionó que sí conoce dónde localizarlos y 26.6% no. En relación con el alto valor alimenticio, 87.5% desconoce esta cualidad y 12.5% sí conoce que tienen un alto valor alimenticio. Al 97.9% de los encuestados sí les interesaría saberlos preparar para su venta y a 2.1% no.

DISCUSIÓN

La obtención de 32 especies ubicadas en 24 géneros, 17 familias y seis órdenes contrasta con lo obtenido por Ramos Elorduy et al. (1998b) para el Estado de México, en el cual registran 104 especies. Sin embargo, es conveniente señalar que Aguascalientes cuenta con poco más de un tercio de la cantidad de especies reportadas para el Estado de México, pero habría que tener en cuenta que aquel es mucho más pequeño en su territorio y climáticamente diferente al estado de México, ya que la mayor parte de Aguascalientes presenta una vegetación típica de zonas semiáridas; además, es muy probable que esta cantidad de especies se incremente si se dedica un mayor esfuerzo de recolecta y se contemplan más localidades.

Los órdenes que presentaron una mayor riqueza de especies fueron Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera y Orthoptera con 10, 7, 5 y 5 especies, respectivamente, en donde coinciden los órdenes mas no la riqueza de especies con los reportados por Ramos Elorduy et al. (1998b) para el estado de México, ya que en ese estudio Hemiptera presentó 19

especies, Coleoptera 18 y Orthoptera e Hymenoptera 13 especies cada uno; esto se puede deber a las diferencias climatológicas, tipo de vegetación y esfuerzo de recolecta realizado.

El orden Hymenoptera fue el que presentó mayor riqueza de especies de entomofauna comestible, las familias Formicidae y Vespidae presentaron una mayor riqueza de especies y Apidae y Vespidae manifestaron la distribución más amplia, que abarca todo el territorio del estado. En cuanto al orden Coleoptera se identificaron siete especies, la familia Melolonthidae posee la mayor riqueza y de la que obtuvo una mayor distribución, sus especies son consumidas popularmente en los estados de Veracruz, Puebla, México e Hidalgo (Ramos Elorduy, 2006; Ramos Elorduy et al., 2007 y Ramos Elorduy et al., 2008).

Del orden Hemiptera se ubicaron cinco especies, en donde la familia Coreidae obtuvo mayor riqueza; los géneros con mayor distribución fueron *Acanthocephala*, conocida como chinche de patas laminadas y *Thasus*, denominada chinche mezquitera (Figura 1d); esta última está registrada por Ramos Elorduy et al. (1998a) como comestible tanto en ninfa como en adulto, por lo cual puede ser más aprovechable.

Dentro del orden Orthoptera se identificaron un total de cinco especies potencialmente comestibles, la familia Tettigoniidae fue la que obtuvo mayor riqueza de especies. Los géneros con mayor distribución fueron *Melanoplus* o chapulín verde (Figura 1b) de la familia Acrididae y *Achaeta*, llamado grillo doméstico de Gryllidae, la cual es rica en vitaminas A y C, de acuerdo al estudio de Ramos Elorduy y Pino (2001).

Se puede observar que los municipios de El Llano, Asientos y Tepezalá cuentan con menor riqueza de especies de insectos comestibles en comparación con el resto, esto puede deberse a que en ellos la precipitación pluvial es más escasa que en los municipios con mayor riqueza de especies. Como se puede apreciar, el estado de Aguascalientes tiene el potencial para aprovechar a los insectos como una fuente de alimento e ingreso económico dentro de la región, aunque es importante mencionar que para realizar la explotación racional de este recurso se deben considerar otros factores para tener un aprovechamiento sustentable, como son: la selección de insectos multivolutinos –aquellos

que producen varias generaciones al año– que sean preferentemente gregarios; además de contar con una evaluación de los beneficios nutricionales de los insectos considerados y contemplar el potencial que tienen para ser almacenados, la facilidad de manipulación y el posible cultivo de plantas hospederas, y dar preferencia a los cultivos que pueden albergar a más de una especie de insecto comestible y que tengan tendencia a ser epidémicos o plagas, como lo señala Durst et al. (2010); por otra parte, es importante señalar que seleccionar insectos que son plaga para los cultivos puede beneficiar incluso a la estabilidad de los agroecosistemas y evitar el uso de pesticidas dañinos para el ambiente.

Otra ventaja para la explotación de este recurso alimenticio es su bajo costo de producción, ya que solo se requiere salir, recolectarlos, proceder a secarlos y prepararlos para su venta (Ramos Elorduy, 1999). Para implementar su producción masiva se requeriría tecnología semitecnificada; por tanto, la inversión sería rápidamente recuperada, ya que muchos de estos insectos tienen un alto valor en el mercado, como algunas larvas de lepidópteros, estas se pueden llegar a vender en 250 dólares estadounidenses el kg (Ramos Elorduy et al., 2001). En el caso de las hormigas "chicatanas", pueden tener un costo en el mercado de entre 80 y 120 pesos el kg, como lo señala Landeros Torres et al. (2005), lo cual es sumamente rentable.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se determinaron un total de 32 especies con importancia alimenticia, ubicadas dentro de 24 géneros, 17 familias y seis órdenes. El de mayor riqueza de insectos comestibles fue Hymenoptera con un total de 10 especies, con las familias Formicidae y Vespidae como las más diversas, seguido del orden Coleoptera, con siete y Hemiptera y Orthoptera, con cinco cada uno.

El orden con mayor distribución de insectos comestibles en todo el estado fue Hymenoptera, principalmente insectos de la familia Apidae y Vespidae. La distribución más amplia se localizó en los municipios de Aguascalientes, Calvillo, Jesús María y San José de Gracia.

Los municipios con mayor conocimiento entomofágico fueron Aguascalientes, Calvillo, Jesús María, El Llano y Asientos.

Finalmente, es importante considerar a los insectos como una alternativa nutricional debido a su alto valor alimenticio y a su relativo bajo costo de producción. La explotación de los insectos –principalmente plagas– puede llegar a proporcionar un ingreso económico suficiente para hacer sustentables a las familias rurales sin dañar los agroecosistemas.

LITERATURA CITADA

- ARNETT, R. *American insects: a Handbook of the Insects of American North of Mexico*. 2 ed., Florida, US: CRC Press, 1985.
 - ARNETT, R. y JAKUES, R. *Simon and Schuster's Guide to Insects*. NY, US: Simon and Schuster Publisher. 521 pp., 1981.
 - ARNETT, R. et al. *American beetles, Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionidea*. Volume 2. US: CRC Press, 2002.
 - BOLTON, B. *Identification Guide to the Ant Genera of the World*. US: Harvard University Press, 1994.
 - COSTA, E. y RAMOS ELORDUY, J. Los insectos comestibles de Brasil: etnicidad, diversidad e importancia en la alimentación. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 38: 423-442, 2006.
 - DILLON, E. y DILLON, L. *A Manual of Common Beetles of Eastern North America*. US: Dover Publications, 1972.
 - DURST, P. B. et al. Edable forest insects: Humans bite back/ Proceedings of workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development. *Food and Agricult.*, 2010.
 - FERNÁNDEZ, F. (Ed.) *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*. Bogotá, Colombia: Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, XXVI, 398 pp., 2003.
 - GULLAN, P. y CRANSTON, P. *The Insects, An Outline of Entomology*. London, England: Chapman and Hall, pp. 3-6, 1994.
 - KAMMINGA, K. et al. *Field Guide to Stink Bugs of Agricultural Importance in the Upper Southern Region and Mid-Atlantic States*. Virginia, US: Clemson University-IPM, 2009.
 - LANDEROS TORRES, I. et al. Estudio etnográfico sobre el consumo de las "chicatanas" (Hymenoptera: Formicidae) en Huatusco, Veracruz. *Folia Entomológica Mexicana*, 44(2): 109-113, 2005.
 - RAMOS, B. et al. Extracción de hormigas mieleras (*Myrmecystus mexicanus*): una reseña sobre el trabajo de campo, en Santo Domingo, Axpausco, Estado de México. *Culinaria Revista Virtual Gastronómica*, 5: 21-34, 2009.
 - RAMOS ELORDUY, J. Edible insects. En *Mesoamerican lore though, Mesoamerican Writing* [CD-ROM] (pp. 87-89). New York, US: Mesolore/ Prolarty, Brown University, 1999.
 - RAMOS ELORDUY, J. Threatened edible insects in Hidalgo, Mexico and some measures to preserve them. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 2: 51, 2006.
 - RAMOS ELORDUY, J. y PINO, J. *Los insectos comestibles en el México antiguo*. AGT Editor, S. A. 108 pp., 1989.
 - RAMOS ELORDUY, J. y PINO, J. Contenido de vitaminas de algunos insectos comestibles de México. *Revista de la Sociedad Química de México*, 45(2): 66-67, 2001.
 - RAMOS ELORDUY, J. y PINO, J. Los Coleóptera comestibles de México. [Serie Zoología]. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México*, 75(1): 149-183, 2004.
 - RAMOS ELORDUY, J. et al. Biodiversidad antropontomofágica de la región de Zongolica, Veracruz, México. *Revista Biología Tropical*, 56, 2008.
 - RAMOS ELORDUY, J. et al. Conocimiento de la entomofauna útil en el poblado La Purísima, Palmar de Bravo, Estado de Puebla, México. *Revista Biotemas*, 20: 121-134, 2007.
 - RAMOS ELORDUY, J. et al. Determinación de minerales en algunos insectos comestibles de México. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 42(001): 18-33, 1998a.
 - RAMOS ELORDUY, J. et al. Insectos comestibles del estado de México y determinación de su valor nutritivo. [Serie Zoología]. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Autónoma de México*, 69: 65-104, 1998b.
 - RAMOS ELORDUY, J. et al. Protein content of some edible insects of Mexico. *Journal of Ethnobiology*, 4: 61-72, 1984.
 - SCHUH, R. y SLATER, J. *True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera) Classification and natural history*. US: Comstock Publishing Associates, 1995.
 - SLATER, J. y BARANOWSKI, R. *How to know the true bugs (Hemiptera-Heteroptera)*. W.C. Brown Co., 256 pp., 1978.
- De páginas electrónicas**
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). Recuperado el 22 de junio de 2012, de <http://www.inegi.mx>.

Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México

Morphometric analysis of the Cuale river watershed, Jalisco, Mexico



Bartolo Cruz Romero^{1,2*}, Fernanda Julia Gaspari³, Alfonso Martín Rodríguez Vagaría³, Fátima Maciel Carrillo González¹, Jorge Téllez López¹

Cruz Romero, B., Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría A. M., Carrillo González, F. M., Téllez López, J. Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 26-34, enero-abril 2015.

RESUMEN

La morfometría de la cuenca del río Cuale se analizó con información topográfica e hidrológica digitalizada a escala 1:50,000 del INEGI. Se verificó la delimitación de la cuenca corrigiendo los detalles hidrológicos y topográficos y se determinaron los parámetros morfométricos que explican los efectos dinámicos de su comportamiento hidrológico. Los resultados se obtuvieron con los programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG): Arc Gis 9.3 (ESRI, 2008)® e Idrisi Taiga®. El paisaje está constituido por un sistema serrano con pendientes y desniveles que acentúan el riesgo por escorrentía, situación que influye de manera decisiva en su respuesta hidrológica y que deberá valorarse en la planificación del territorio y manejo integral.

ABSTRACT

The morphometry of the Cuale River watershed was analyzed with topographical and hydrological

Palabras clave: cuenca hidrográfica, morfometría, sistemas de información geográfica.

Keywords: watershed, morphometry, geographic information systems.

Recibido: 13 de marzo de 2014, aceptado: 22 de agosto de 2014

¹ Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara.

² Instituto Tecnológico de Bahía de Banderas.

³ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.

* Autor para correspondencia: cruzromerobartolo@gmail.com

information digitized at 1:50,000 from INEGI. Watershed delineation was verified correcting hydrological and topographical details and morphometric parameters that explain the dynamic effects of the hydrological behavior. The results were obtained with the programs of Geographic Information Systems (GIS): Arc Gis 9.3 (ESRI, 2008) and Idrisi® Taiga®. The landscape consists of a mountain system with inclines and slopes that accentuate the risk of runoff, a situation that has a decisive influence on their hydrological response and that should be measured in spatial planning and integrated management.

INTRODUCCIÓN

El concepto de cuenca hidrográfica se expresa como un área delimitada por la dirección de sus cursos de agua y su superficie se define por el parteaguas a partir del cual la precipitación drena por esa sección (Cotler, 2010). Su función hidrológica se asemeja al de un colector que recibe la precipitación pluvial y la convierte en escurrimiento. Esta transformación se produce en función de las condiciones climatológicas y físicas, aunada a la naturaleza del suelo y cobertura vegetal (Gaspari, 2002). La influencia de estos factores es cuantificable para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico y su respuesta hidrológica (López Cadenas de Llano, 1998; Méndez y Marcucci, 2006; Matter et al., 2009).

Este análisis pretende caracterizar un ambiente geomorfológico por medio de parámetros que sean susceptibles de un tratamiento matemático que permita disminuir la influencia de la subjetividad en las conclusiones que se deriven de esos parámetros (Doffo y Bonorino, 2005). Con base en esta caracterización, el objetivo del trabajo es realizar el análisis morfométrico de la cuenca y subcuencas del río Cuale, Jalisco, México; con la finalidad de utilizar esta información en la planeación y ordenación de este territorio.

Área de estudio

La cuenca del río Cuale se ubica en la costa oeste de México, en el estado de Jalisco (Figura 1), en la región donde confluyen la cordillera del Eje Transversal Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur (Quintero, 2004). Presenta regiones altitudinales que se distribuyen desde la costa hasta los 2,400 m.s.n.m. en el área montañosa. Comprende una superficie de 26,993.82 ha. Se localiza en las coordenadas geográficas: latitud norte entre 20° 31' 53" y 20° 34' 11" y longitud oeste entre 105° 06' 53" y 105° 10' 5" hacia el sureste de la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco. Pertenece a la Región Hidrológica Huicicila (Quintero, 2004) y se compone de ríos tributarios que son los afluentes del río principal llamado Cuale.

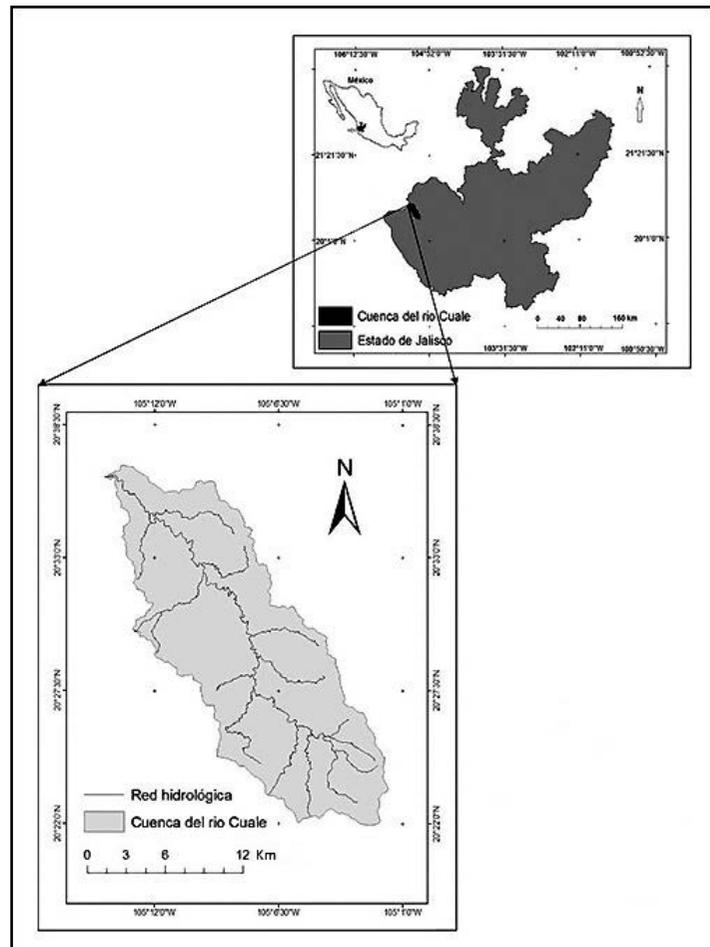


Figura 1. Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México.

La precipitación anual es de 1,632.2 mm en las zonas bajas, con un clima subhúmedo semitropical y 1,447 mm en las partes altas, donde se presenta un clima templado subhúmedo (CONABIO, 2008). El entorno geológico está formado por rocas clásticas o detríticas de origen continental. Se aprecia la arenisca de grano fino con fragmentos de roca volcánica y algunos horizontes de arcilla (INEGI, 2010), de tal manera que los tipos de suelo dominantes corresponden a Regosol eútrico y Litosol (INEGI, 1974).

MATERIALES Y MÉTODOS

La verificación de los límites de la cuenca del río Cuale se realizó a través del software SIG Arc Gis 9.3 y se incorporó información cartográfica digital del INEGI (2010), que correspondió a las cartas topográficas F13C69 Puerto Vallarta y F13C79 El Tuito, escala 1:50,000. Posteriormente, por medio de un

procesamiento altimétrico se generó el modelo de elevación digital (DEM) y utilizando la herramienta llamada preprocesado del terreno (*ArcHydro Terrain Preprocessing*) se obtuvo la delimitación automática de la cuenca y sus subcuencas. Para la determinación de los índices morfométricos se aplicó el software SIG Idrisi Taiga®, Módulo Agua/Aspectos medioambientales/Parámetros de cuencas; que calcula los parámetros que definen la forma, relieve y red hidrográfica de una cuenca y que de acuerdo con Campos (1992), Llamas (1993) y Chow et al. (1994) corresponden a los siguientes parámetros:

a) Parámetros de forma. Área de la cuenca (A) (km^2); Perímetro (P) (km); Longitud axial (La) (km), que es la distancia entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca; Ancho promedio (AP) (km), expresado por el cociente entre el área de la cuenca y su longitud axial; Índice de forma de la cuenca (IF) (adimensional), que comprende la

distribución o arreglo geométrico de los ríos tributarios que integran la red hidrográfica; Coeficiente de compacidad de Gravellius (K_c) (adimensional), que relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca; Índice de alargamiento (I_a) (adimensional), relaciona la longitud más larga de la cuenca con el ancho mayor, medido perpendicularmente a la dimensión anterior; Índice de homogeneidad (I_h) (adimensional), determina la relación del área de la cuenca con la de un rectángulo que tiene por eje mayor la longitud máxima de la cuenca y por eje menor el ancho máximo de la cuenca e Índice asimétrico (I_a) (adimensional), corresponde al cociente entre la vertiente más extensa y la menos extensa.

b) Parámetros de relieve. Altitud media (A_m) (msnm); Curva hipsométrica (CH), es una representación gráfica de la distribución del área de acuerdo con su elevación, establecida para cada clase de elevación (sobre una equidistancia de 100 m en este estudio debido a las características heterogéneas del relieve) por medio de una curva de doble eje de coordenadas, cuya ordenada es la cota altitudinal (m.s.n.m.) y la abscisa es el área por encima de una cota dada (en % o km^2), como lo establecen Strahler (1957) y Langbein (1947). Proporciona información sintetizada sobre la altitud y forma de la cuenca, así como el tiempo de ocurrencia del escurrimiento superficial (Harlin, 1984; Luo y Harlin, 2003), y es también utilizada para interpretar las etapas del paisaje y los procesos de erosión que ocurren en una cuenca (Moglen y Bras, 1995; Willgoose y Hancock, 1998; Luo, 2000) al representar gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura (Langbein, 1947; Campos, 1992; Gaspari et al., 2009). Mediana de altitud (M_a) (m), calculada por medio de la curva hipsométrica (CH); Pendiente de la cuenca (P) (o), se obtiene al relacionar las diferentes cotas (curvas de nivel) con las distancias recorridas en metros hacia la desembocadura y se calculó con la media ponderada de las pendientes de todas las superficies en las que la línea de máxima pendiente es constante; altura media (H_m) (m), se calculó dividiendo el volumen total del relieve de la cuenca por su superficie proyectada y se evaluó con la ayuda de la curva hipsométrica; el relieve de la cuenca (R_e) se definió con la información de la curva hipsométrica y la Clasificación de los tipos de relieve (López Cadenas de Llano, 1998) y para este caso se determinó de acuerdo al resultado de la pendiente media (PM).

c) Parámetros de la red hidrográfica. Corresponden a la distribución o arreglo geométrico de los ríos tributarios que lo conforman (Gaspari et al., 2009). Comprende la clasificación de los sistemas de drenaje, la cual se determinó bajo el método propuesto por Horton (1945). Este método define escurrimiento de primer orden a aquel que carece de tributarios y uno de segundo orden que recibe al menos uno o varios tributarios del primer orden. El tercer orden lo confluyen uno o varios afluentes de segundo orden, pero puede recibir directamente afluentes de primer orden; así sucesivamente se llega al orden más elevado, que debe corresponder al cauce principal de la cuenca.

La Densidad fluvial (D_f) (km/km^2) consistió en relacionar la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan en la cuenca con respecto al área de la misma (Henaos, 1988); Pendiente media del cauce (PM) (grados y %), se estableció a partir del desnivel topográfico sobre el cauce principal y la longitud del mismo; Tiempo de concentración (T_c) (h), corresponde al tiempo mínimo necesario para que todos los puntos hidrológicos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía al punto de salida y está determinado por el tiempo que tarda una partícula hidrológicamente más lejana en viajar hasta el punto emisor de la cuenca (López Cadenas de Llano, 1998). El cálculo correspondió a la utilización de variables de tipo topográfico, en donde destacan la importancia de la inclinación y la longitud del cauce principal, utilizando la ecuación:

$$T_c = 0.3 * (L/J^{1/4})^{0.76}$$

En donde T_c = tiempo de concentración (hr), L = longitud del cauce (m), J = pendiente media del cauce (%) y, por último, se determinó la Longitud del cauce principal (L) (km) a partir del mapa digitalizado de la red de drenaje.

RESULTADOS

A partir del procesamiento digital de la información cartográfica de las cartas F13C69 Puerto Vallarta y F13C79 El Tuito se obtuvo el DEM escala 1:50,000 que permitió caracterizar las formas de relieve con respecto a los valores de las curvas de nivel y crear una superficie vectorizada donde se integró el área de estudio (Figura 2).

La delimitación de las subcuencas consideró a las unidades hidrológicas menores originadas

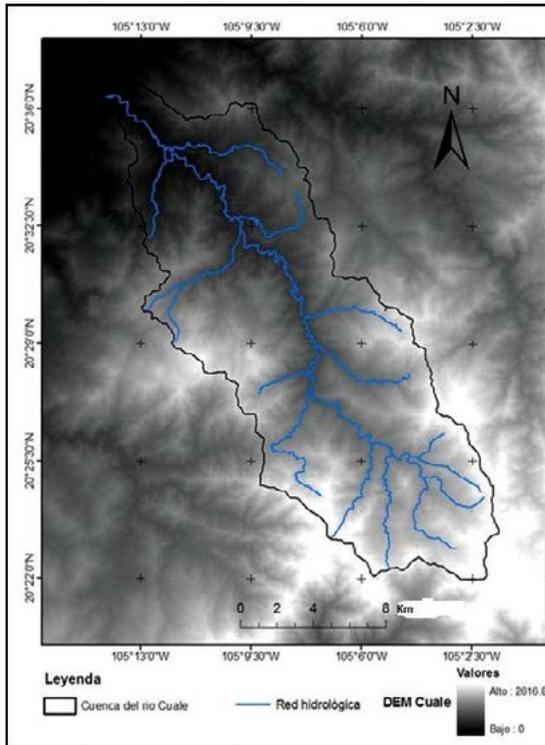


Figura 2. Modelo de Elevación Digital (m.s.n.m.) (DEM). Escala 1:50,000.

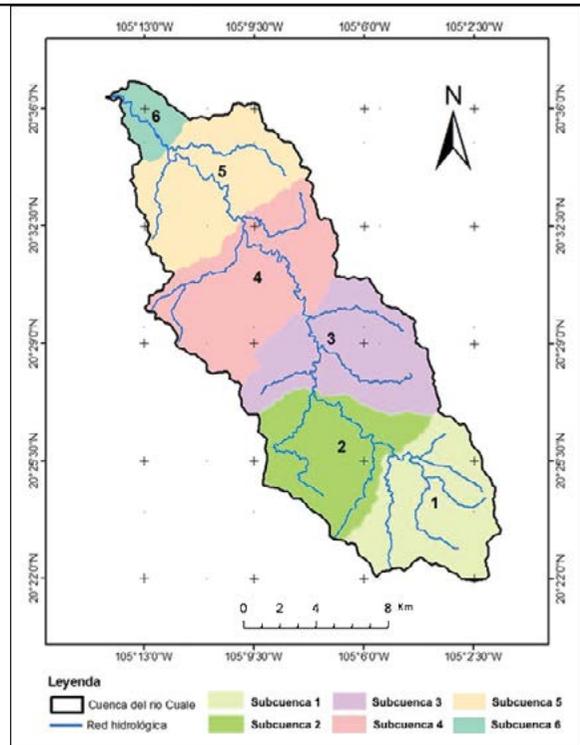


Figura 3. Cuenca y subcuencas del río Cuale, Jalisco, México.

por las divisorias de agua representadas por los ríos secundarios o tributarios que fluyen al río principal (Figura 3).

Se presentan los parámetros de forma, relieve y red de drenaje analizados a nivel de cuenca y subcuencas en las tablas 1, 1(a), 2 y 3. El análisis de estos parámetros estuvo en función de determinar la influencia de la forma de la cuenca en el movimiento y captación del agua de lluvia, además de proporcionar información relacionada con la gestión, planificación y ordenación del territorio.

La influencia de los parámetros de forma representados en las tablas 1 y 1(a) inciden en la caracterización de la red hidrográfica de la cuenca del río Cuale. Con un área de 26,993.82 ha, perímetro de 117.19 km y factor de forma de 0.023, a esta cuenca le corresponde un tamaño intermedio pequeño con forma rectangular oblonga. El valor e interpretación del coeficiente de compacidad 2.03 y los índices de alargamiento 3.15, homogeneidad 1.72 y asimétrico 5.83 indican un menor tiempo de la cantidad de agua dentro del área de la cuenca.

Los parámetros de relieve representados en la Tabla 2 muestran que la cuenca del río Cuale presenta pendientes pronunciadas de hasta 25.23°, con una pendiente media en toda el área de 44.28%, lo que representa un relieve muy fuerte en la cuenca. Este efecto expresa que a una mayor pendiente corresponde una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal en esta cuenca.

La Figura 4 muestra la curva hipsométrica de la cuenca del río Cuale, presenta valores altitudinales elevados de más de 2,000 m con pendientes pronunciadas de 48.64%, se estabiliza hacia altitudes menores cercanas a los 260.08 m, de tal manera que la altitud media es más alta que la mediana de altitud.

Los parámetros relativos a la red de drenaje representados en la Tabla 3 estuvieron en función de la distribución o arreglo geométrico de la red hidrográfica y corresponden a valores bajos de densidad de drenaje entre 0.4014 a 0.5439 km/km², con diferencias marcadas en la pendiente media del cauce entre 1.99° y 12.63°. El tiempo de concentración para toda la cuenca fue de 2.8 hr y la longitud del cauce principal de 49.04 km.

El número de orden de los cursos de agua para la cuenca del río Cuale correspondió a un valor de 3 (Figura 5) y denota que mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura será más definida.

DISCUSIÓN

El procesamiento de la información digital a través de los SIG, en particular el análisis de superficies a través de un modelo digital de elevación, representa una alternativa que ha tomado relevancia en estudios de

parámetros morfométricos por ser útil para analizar características de un ambiente geomorfológico (Viramontes et al., 2007; Moreno et al., 2008). La aplicación de esta tecnología permite evaluar el funcionamiento hidrológico y la descripción de una cuenca mediante programas de cómputo de forma coherente y sistematizada (Salas Aguilar et al., 2011).

De los resultados obtenidos en los parámetros de forma presentados en las tablas 1 y 1(a) se deriva que el área obtenida, según la clasificación propuesta por Campos (1992) es considerada como

Tabla 1. Parámetros de forma de la cuenca del río Cuale

	Área (A) (ha)	Perímetro (P) (km)	Longitud axial (La) (km)	Ancho promedio (AP) (km)	Factor forma (IF)
Cuenca Cuale	26,993.82	117.19	8.02	8.03	0.023
Subcuenca 1	4,883.99	41.02	8.83	5.52	0.625
Subcuenca 2	4,524.04	39.72	8.39	5.38	0.641
Subcuenca 3	5,211.34	43.74	9.23	5.64	0.611
Subcuenca 4	6,148.79	47.81	7.48	8.21	1.090
Subcuenca 5	5,173.30	42.04	5.63	9.18	1.633
Subcuenca 6	1,053.20	19.17	4.14	2.54	0.613

Tabla 1(a). Continuación. Parámetros de forma

	Coefficiente de compacidad (Kc)	Índice de alargamiento (Ial)	Índice de homogeneidad (Ih)	Índice asimétrico (Ia)
Cuenca Cuale	2.03	3.15	1.72	5.83
Subcuenca 1	1.64	1.04	2.05	92.76
Subcuenca 2	1.65	0.89	1.12	331.25
Subcuenca 3	1.72	0.91	1.64	70.19
Subcuenca 4	1.73	0.70	1.17	46.33
Subcuenca 5	1.65	0.65	1.42	604.85
Subcuenca 6	1.68	1.59	1.76	1

Tabla 2. Parámetros de relieve de la cuenca del río Cuale

	Altitud media (Am) (msnm)	Mediana de altitud (Ma) (m)	Pendiente media (PM) (°grados)	Pendiente media (PM) (%)	Relieve (Re)
Cuenca Cuale	1130.94	40.43	23.22	44.28	Muy fuerte
Subcuenca 1	1655.36	39.98	23.08	44.19	Muy fuerte
Subcuenca 2	1409.99	46.61	25.23	48.64	Muy fuerte
Subcuenca 3	1260.64	43.69	23.27	44.22	Muy fuerte
Subcuenca 4	1015.22	47.37	22.33	42.37	Muy fuerte
Subcuenca 5	571.60	31.84	22.78	43.28	Muy fuerte
Subcuenca 6	260.08	37.04	22.37	42.30	Muy fuerte

Tabla 3. Parámetros de la red de drenaje de la cuenca del río Cuale

	Densidad de drenaje (Dd) (km/km ²)	Pendiente media del cauce (Pm) (°)	Tiempo de concentración (hr)	Longitud del cauce principal (L) (km)
Cuenca Cuale	0.5157	4.24	2.8	49.04
Subcuenca 1	0.5439	5.08	1.05	7.49
Subcuenca 2	0.4851	12.63	0.88	7.29
Subcuenca 3	0.2936	1.81	0.66	7.49
Subcuenca 4	0.4268	12.51	0.83	10.22
Subcuenca 5	0.4014	3.51	1.12	9.85
Subcuenca 6	0.5253	1.99	1.13	6.70

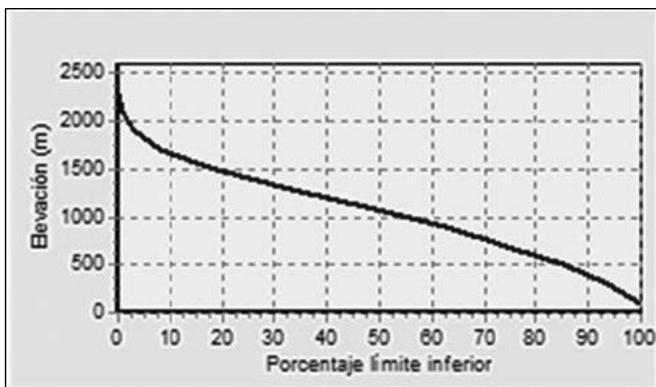


Figura 4. Curva hipsométrica de la cuenca del río Cuale.

una cuenca de tamaño intermedio pequeño. La misma se dividió en seis subcuencas, de las cuales la subcuenca 4 presenta mayor área y perímetro, la subcuenca 1 es la menor y las demás corresponden a áreas similares. Los valores de longitud axial y ancho promedio de la cuenca y sus subcuencas hacen suponer que esta área presenta poca capacidad de coleccionar agua. En una primera aproximación a la forma de la cuenca se ha utilizado el parámetro factor forma para determinar el arreglo geométrico de los ríos tributarios que integran la red hidrográfica. Este índice se complementó con el coeficiente de compacidad de Gravellius, el índice de alargamiento y el índice de homogeneidad representados en la Tabla 1 (a), datos que sitúan a la cuenca del río Cuale con valores por arriba de 1.75, en donde también se ubican las subcuencas 1, 3 y 6.

De acuerdo con Viramontes et al. (2007) y Salas Aguilar et al. (2011), esta cuenca presenta una tendencia de forma oval oblonga a rectangular oblonga y está menos sujeta a avenidas; valores menores a 1.50 significarían una forma redondeada que sería susceptible a avenidas rápidas e intensas

(Cotler, 2004), lo que puede generar pérdidas de suelo en la parte alta y traer consecuencias en la morfología del terreno aguas abajo, situación registrada por Fuentes (2004) a través del cálculo del índice de alargamiento con un valor de 2 en la zona del Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán. De esta manera, se considera que la forma de la cuenca del río Cuale representa la regulación a la cual se suministra el agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura (Cotler y Maas, 2004).

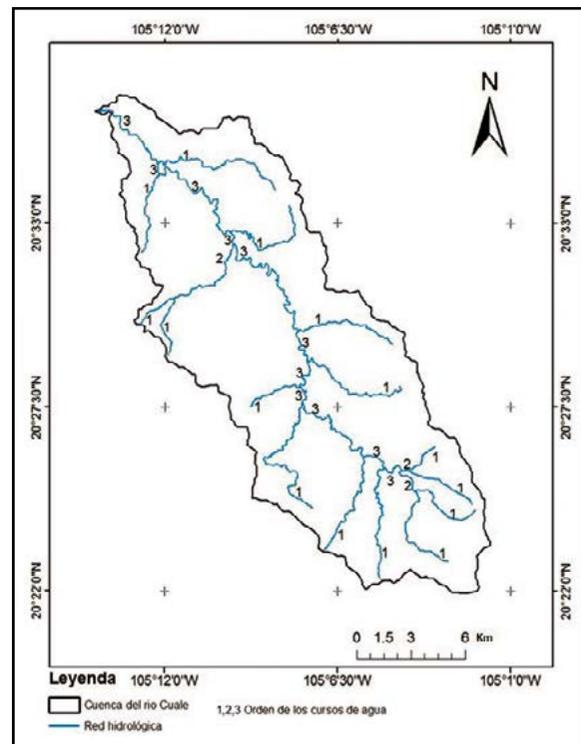


Figura 5. Número de orden de los cursos de agua de la cuenca del río Cuale.

En cuanto al índice asimétrico con un valor de 5.86, se presume que la red de drenaje puede presentar avenidas de moderadas a lentas, ya que no se presenta de manera homogénea de una vertiente a otra. Este mismo comportamiento se observa en las subcuencas 2, 3, 4, 5 y 6, que registran valores elevados; sin embargo, en la subcuenca 1 el índice asimétrico se acerca a la unidad si se considera que a esta área le corresponde una red de drenaje de tipo homogénea.

En relación con los parámetros de relieve, los resultados que se obtuvieron de la curva hipsométrica (CH) permitieron establecer la altura media de la cuenca al ubicar la altitud media de cada unidad de drenaje en el punto donde se encuentra 50% del área acumulada. Este valor correspondió al porcentaje en el eje de las abscisas del área acumulada en cada isohipsa (curva de nivel) y en las ordenadas se colocaron los valores de altitud de cada una de las isohipsas o fajas altitudinales.

Desde el punto de vista hidrológico y de acuerdo con López Cadenas de Llano (1998), el resultado obtenido por la curva hipsométrica es más representativo en función de que la mitad de la superficie de una cuenca está influenciada por relaciones determinadas entre las elevaciones y la temperatura. Respecto a la forma de la curva hipsométrica, se puede inferir que la cuenca del río Cuale y sus subcuencas corresponden a una cuenca en equilibrio (Harlin, 1984), bajo el supuesto de que esta función, de acuerdo con Strahler (1957), relaciona la altitud con el área que cambia a través del tiempo en la medida que la cuenca sufre los efectos de la erosión, lo cual implica que esta área no presenta gran potencial erosivo y tiende a clasificarse como una cuenca en su fase de madurez (Campos, 1992; Llamas, 1993; Fuentes, 2004). Estos resultados en conjunto con los demás parámetros de relieve permiten considerar que las características físicas y el comportamiento hidrológico de la cuenca se encuentran influenciados por la topografía (Solís et al., 2006; Vivone et al., 2008).

El valor registrado para la altitud media de 1,130.94 m.s.n.m. y la mediana de altitud de 40.43 m calculada a partir de la curva hipsométrica describe a la cuenca del río Cuale como una cuenca de elevación media baja. Al mismo tiempo, la diferencia de altitud que se registra en las subcuencas se expresan desde 260.08 hasta 1,655.36 m.s.n.m. y puede indicar una mayor diferenciación

de ecosistemas, entre los que destacan el bosque tropical subcaducifolio, bosque de pino, bosque de encino y bosque mesófilo. Con respecto a la pendiente media 44.28%, le corresponde un relieve de tipo muy fuerte (compuesto por cañadas y montañas) de acuerdo con la clasificación de Fuentes (2004). Esta característica favorece a la escorrentía, lo que da como respuesta mayor velocidad del agua en las corrientes y menor tiempo de concentración. Lo anterior indica la presencia de planicies en la parte baja y representa un posible peligro de inundación en zonas aledañas al cauce principal en esta zona; en especial si la cobertura vegetal ha sufrido cambios en su estructura (Solís et al., 2006).

Los resultados de los parámetros de la red de drenaje corresponden a valores bajos de densidad de drenaje y pendiente media del cauce. Lo anterior hace suponer que la cuenca del río Cuale y sus subcuencas presentan bajos volúmenes de escurrimiento y bajas velocidades de desplazamiento del agua, lo que pudiera generar un moderado ascenso en las corrientes. Respecto al tiempo de concentración en toda la cuenca con un valor de 2.8 hr, se considera dentro de un rango de tiempo de concentración lento (Fuentes, 2004). Para las subcuencas estos valores oscilan entre las 0.83 hr y las 1.13 hr, lo que se considera un tiempo de concentración moderado. De acuerdo con este mismo autor, la cuenca presenta una clase de orden de corriente media. Asimismo, un mayor orden se relaciona en conjunto con la presencia de controles estructurales del relieve y mayor posibilidad de erosión. En este sentido y reconociendo a la morfometría y los parámetros de relieve de tipo muy fuerte (formado por cañadas y montañas), se considera que en la cuenca del río Cuale se presenta un aporte rápido de escurrimiento superficial que induce un fuerte impacto por parte de las avenidas desde la parte alta hasta la parte baja de la cuenca.

El estudio de la red hidrográfica se complementó tomando como criterio la longitud para definir el cauce principal de la cuenca y sus afluentes. El número de afluentes fue de 15 con una longitud total de 139.22 km y el cauce principal de acuerdo con Fuentes (2004) corresponde a un cauce de cuenca largo, valores que indican una cuenca bien drenada. Los cursos de agua en esta cuenca correspondientes al tercer orden, de acuerdo con Horton (1945), cuanto más alto sea el orden de la cuenca mayor será el grado de desarrollo fluvial



Figura 6. Cuenca hidrológica del río Cuale, Jalisco, México.
Fotografía tomada por Jorge Téllez López.

y se establecerá una mayor jerarquización en las partes bajas o planas, lo que hace suponer que las avenidas provenientes de las partes altas pueden ser motivo de inundaciones en condiciones de lluvias abundantes (Mintegui et al., 2003; González, 2004; Hernández, 2008). Esta suposición, con los resultados de los demás parámetros morfométricos estudiados, deduce que la cuenca del río Cuale debe estar monitoreada constantemente en la época de lluvias para evitar alguna situación de riesgo por inundación.

CONCLUSIONES

El uso de (SIG) permitió realizar el análisis morfométrico de la cuenca y subcuencas del río

Cuale. La determinación de los parámetros de forma, relieve y red de drenaje fue de gran importancia para interpretar el comportamiento hidrológico y comprender su incidencia ante la presencia de externalidades, como pueden ser las precipitaciones y avenidas extremas. El área estudiada corresponde a un paisaje montañoso con pendientes muy escarpadas y desniveles que le dan un carácter de riesgo por escorrentía, situación que causa que ante eventos pluviales se pueden presentar avenidas hidrológicas de moderadas a lentas. Lo anterior se afirma con base en la interpretación de los resultados relacionados con el índice asimétrico que indican que la red de drenaje no es homogénea en toda el área de la cuenca y está menos condicionada a avenidas agresivas, de tal manera que los riesgos de inundaciones asociados a esta cuenca son de mediana a baja intensidad. Esta característica debe considerarse sólo como un indicador que no descarta que se puedan provocar crecientes por otras causas. La información aportada por este análisis puede ser utilizada para propósitos de estudios hidrológicos e hidráulicos que puedan involucrarse en la ordenación y planeación de este territorio.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer por el apoyo técnico y financiero a EXCEED Excellence Center for Development Cooperation Sustainable Water Management, Alemania, la Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Brasil y al Ministerio de Educación de la República de Argentina.

LITERATURA CITADA

- CAMPOS, A. *Procesos del Ciclo Hidrológico*. 2 ed., México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, pp. 33-34, 1992.
- CHOW, V. T. et al. *Hidrología aplicada*. Colombia: McGraw-Hill, 584 pp., 1994.
- CONABIO (COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD). *Regiones Terrestres Prioritarias de México*. En L. Arriaga y J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (Coords.), *Regiones Terrestres Prioritarias de México*. México: Autor, 2008.
- COTLER, H. (Coord.) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. México: Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., 231 pp., 2010.
- COTLER, H. y MAAS, M. *Protocolo para el manejo integral de cuencas*. México: Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT. Publicación especial: 42-58, 2004.
- DOFFO, N. y BONORINO, G. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba: Un análisis estadístico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 60(1): 16-22, 2005.
- FUENTES, J. J. *Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio en el Parque Nacional del Pico de Tancitaro*. México: INECOL. Publicación especial: 47 pp., 2004.
- FUENTES, O. *Una metodología para evaluar el potencial agrícola de las tierras en pequeñas unidades de producción. Lugar de aplicación: Los Cañizos, estado Yaracuy*. Tesis. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela, 205 pp., 1992.

- GASPARI, F. J. *Ordenamiento territorial en cuencas serranas. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.)*. Argentina: Ediciones Cooperativas. 147 pp., 2002.
 - GASPARI, F. J. et al. *Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas*. Argentina: Universidad Nacional de La Plata. 321 pp., 2009.
 - GONZÁLEZ, M. A. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la A.G.E.*, 38: 311-329.
 - HARLIN, J. M. Watershed morphometry and time to hydrograph peak. *Journal of Hydrology*, 67: 141-154, 1984.
 - HENAO, J. E. *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás. Centro de Enseñanza Desescolarizada. 399 pp., 1988.
 - HERNÁNDEZ, M. Z. *Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa con base en análisis multivariado: la región de Zapotitlán de Méndez, Puebla*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias. 110 pp., 2008.
 - HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. America Bull.*, 56: 275-280, 1945.
 - INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). *Carta Edafológica. F13C69 y F13C79*. México: Autor, 1974.
 - INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). *Geología. Cartas: F13C69 y F13C79*. México: [CD-ROM]. 2010.
 - LANGBEIN, W. B. Topographic characteristics of drainage basins. *U.S. Geology Survey. Water-Supply Paper. 968-C*: 125-155, 1947.
 - LLAMAS, J. *Hidrología General, Principios y Aplicaciones*. Bilbao, España: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. 635 pp., 1993.
 - LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. *Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ingeniería medioambiental*. España: Mundi Prensa-TRAGSATEC-Min. Medio Ambiente. 945 pp., 1998.
 - LUO, W. Quantifying groundwater-sapping landforms with a hypsometric technique. *Journal of Geophysical Research*, 105: 1685-1694, 2000.
 - LUO, W. y HARLIN, J. M. A theoretical travel time based on watershed hypsometry. *Journal of the American Water Resources Association*, 39: 785-792, 2003.
 - MATTER, M. A. et al. Characterizing hydroclimatic variability in tributaries of the Upper Colorado River Basin. *Journal of Hydrology*, 380(3): 260-276, 2009.
 - MÉNDEZ, W. y MARCUCCI, E. Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas - Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 47(1): 29-55, 2006.
 - MINTEGUI AGUIRRE, J. A. et al. Avenidas torrenciales en el arroyo del Partido y su incidencia en la Marisma del Parque Nacional de Doñana. *Naturaleza y Parques Nacionales [Serie Técnica]*. Madrid, España: Editorial Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 373 pp., 2003.
 - MOGLEN, G. E. y BRAS, R. L. The effect of spatial heterogeneities on geomorphic expression in a model of basin evolution. *Water Resources Research*, 31: 2613-2623, 1995.
 - MORENO, A. et al. *Sistemas y Análisis de la Información Geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS*. México: Alfaomega Grupo Editor, S. A. 940 pp., 2008.
 - SALAS AGUILAR, V. M. et al. Morfometría de la cuenca del río Nazas-Rodeo aplicando tecnología geoespacial en Durango, México. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 5(1): 34-42, 2011.
 - SOLÍS, M. R. et al. Análisis de la cubierta vegetal de la cuenca alta del río Nazas en Durango, México. *Revista Chapingo: Serie de Ciencias Forestales y de Ambiente*, 12(04): 139-143, 2006.
 - STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Morphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, 38(6): 913-920, 1957.
 - TUCKER, G. et al. Statistical analysis of drainage density from digital terrain data. *Geomorphology*, 36: 187-202, 2001.
 - VIRAMONTES, O. O. et al. Morfometría de la cuenca del río San Pedro Conchos, Chihuahua. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 1(3): 21-31, 2007.
 - VIVONE, E. R. et al. Hypsometric control on surface and subsurface runoff. *Water Resources Research*, 44: W12502, 2008.
 - WILLGOOSE, G. y HANCOCK, G. Revisiting the hypsometric curve as an indicator of form and process in transport-limited catchment. *Earth Surfaces Processes Landforms*, 23: 611-623, 1998.
- De páginas electrónicas**
- QUINTERO, T. P.R.P.C. *Río Cuale, Microcuenca El Cuale, Municipio de Talpa de Allende*. SAGARPA-FIRCO (Documento no publicado), 2004. Recuperado el 4 de noviembre de 2012, de <http://www.firco.gob.mx/Paginas/default.aspx>.

Detección de capacitores de tantalio de montaje superficial con conexiones marginales

Detection of surface mount tantalum capacitors with marginal connections

Sergio Isauro Flores Vázquez^{1*}, Juan López Hernández¹, José Amparo Rodríguez García¹, Enrique Martínez Peña¹, Enrique Rocha Rangel¹, Eddie Nahúm Armendáriz Mireles¹, Karla Guadalupe Martínez González², Héctor Chávez García²

Flores Vázquez, S. I., López Hernández, J., Rodríguez García, J. A., Martínez Peña, E., Rocha Rangel, E., Armendáriz Mireles, E. N., Martínez González, K. G., Chávez García, H. Detección de capacitores de tantalio de montaje superficial con conexiones marginales. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 35-40, enero-abril 2015.

RESUMEN

Los capacitores de tantalio de montaje superficial forman parte de una gran variedad de dispositivos electrónicos de uso masivo, como lo son los teléfonos móviles, televisores, tarjetas electrónicas, entre otros. Pueden presentar conexión marginal entre las uniones de sus elementos internos, lo que puede derivar en un mal funcionamiento o deterioro del dispositivo electrónico. En el presente trabajo se muestra un sistema capaz de detectar, de manera eficiente y eficaz, capacitores que presenten conexión marginal en diferentes porcentajes. Los resultados experimentales demuestran que es posible detectar conexiones marginales mediante la medición de temperatura en las terminales del capacitor operando bajo condiciones de estrés eléctrico.

ABSTRACT

Surface mount capacitors are part of a variety of widespread electronic devices such as mobile phones, televisions, electronic boards, etc. These capacitors may have marginal connection between the junctions of internal elements, which can lead to malfunction or damage to the electronic device. In

Palabras clave: capacitor, tantalio, montaje superficial, conexión marginal, detección.

Keywords: capacitor, tantalum, surface mount, marginal connection, detection.

Recibido: 26 de enero de 2014, aceptado: 22 de agosto de 2014

¹ Universidad Politécnica de Victoria.

² KEMET de México, Planta Victoria.

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

this paper, a system capable of detecting a marginal connection at different percentages in capacitors efficiently and effectively is presented. Experimental results show that it is possible to detect marginal connections by measuring the temperature at the terminals of capacitor operating under electrical stress conditions.

INTRODUCCIÓN

Los capacitores son dispositivos pasivos constituidos por dos placas metálicas paralelas separadas entre sí por medio de un dieléctrico (aislante) que se emplean fundamentalmente en el almacenamiento de cargas eléctricas (Enríquez Harper, 1990). Pueden ser fabricados de diferentes formas y materiales, de lo cual dependerá el tamaño y la capacitancia del dispositivo. Nishino (1996) muestra una breve descripción de los materiales y técnicas utilizados para su fabricación, en donde resalta la creciente demanda de capacitores electrolíticos fabricados con tantalio o aluminio como base. Por su parte, un capacitor de tantalio de montaje superficial básicamente consiste en polvo del mencionado elemento químico prensado en forma de pastilla (ánodo), una estructura de MnO₂ (cátodo), el bastidor de conductores y el recubrimiento epoxi (Hahn y Paulsen, 2006). Debido a su delgada capa dieléctrica, un capacitor de tantalio puede tener alta capacitancia (almacenamiento de energía) en un volumen pequeño, característica que le proporciona una ventaja significativa en el diseño y desarrollo de circuitos eléctricos cuyas principales aplicaciones son en teléfonos móviles, tarjetas electrónicas, computadoras personales, electrónica automotriz, industria militar, etc. (Gill, 2012).

Los fabricantes de capacitores deben garantizar la calidad y confiabilidad de sus productos, logrando la satisfacción de sus clientes. Con este fin se deben realizar diferentes pruebas de calidad, en donde se verifica que los parámetros eléctricos de los capacitores se encuentren dentro de un margen aceptable para su venta. Dentro de los principales parámetros verificados se pueden mencionar la capacitancia (CAP), la resistencia en serie (ESR) y la corriente de fuga (*leakage*) (Qazi, 2014). Sin embargo, debido al diseño del cuerpo del capacitor pueden existir defectos mecánicos de fabricación que no se reflejen en la verificación de los parámetros eléctricos.

Existe el riesgo de presentarse fallas en el ensamble, como lo son los falsos contactos entre las terminales y el núcleo de tantalio conocidos como "conexiones marginales" (Vasina et al., 2002). Si estos dispositivos no son identificados y posteriormente segregados del proceso de fabricación, con seguridad provocarán el mal funcionamiento e inclusive el deterioro de los mismos al momento de ser integrados en los productos finales. Para el fabricante es muy importante verificar los capacitores haciendo uso de pruebas no destructivas y así minimizar costos de producción. Sin embargo, se recomienda hacer pruebas con el dispositivo montado sobre una aplicación y verificar desde la soldadura hasta sus entornos para discriminar posibles fallas por uso inadecuado. Además, es posible realizar una examinación externa en busca de fallas de ruptura por moldeo del material epóxico o incluso daño mecánico o térmico, entre otras. Una inspección interna es requerida cuando se buscan fallas en la construcción interna del capacitor como lo pueden ser los ánodos desalineados o las conexiones marginales. Estas pruebas típicamente hacen uso de estereomicroscopía para inspecciones externas y rayos X para inspecciones internas (Qazi, 2014).

No obstante todo este tipo de pruebas, capacitores defectuosos son comercializados al no ser posible hacer pruebas exhaustivas a todas las partes, lo que elevaría los costos de producción. Este tipo de pruebas sólo son aplicadas a todas las piezas cuando el cliente así lo demanda, por ejemplo, en aplicaciones militares. La incertidumbre sobre la confiabilidad de los dispositivos ha originado que en la actualidad se desarrollen técnicas de prueba en tiempo real que permitan prevenir o advertir de fallas debidas al mal funcionamiento o deterioro de los dispositivos utilizados (Bhargava et al., 2014). Por este

motivo, es deseable diseñar, construir e implementar dentro de las líneas de producción un sistema detector de capacitores de tantalio con conexión marginal (SIDEKOM), que identifique y segregue de manera eficiente y eficaz aquellos capacitores que presenten este tipo de falla. De esta manera se reducirán los costos y problemas debido a los daños generados por los dispositivos defectuosos y aumentarán los niveles de calidad y satisfacción del cliente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se enfoca en diseñar, desarrollar y validar a nivel laboratorio un sistema detector de conexiones marginales en capacitores de tantalio de montaje superficial (SIDEKOM) mediante la aplicación de estrés eléctrico y mediciones de temperatura.

Una conexión marginal implica que no existe una superficie de contacto completa entre el cátodo del capacitor y la terminal externa del dispositivo, lo cual aumentará la resistividad en la terminal negativa. Si bien la falta de contacto incrementa la resistencia, este incremento no es tan marcado como para ser detectado mediante pruebas de ESR. La cantidad de cargas que almacena un capacitor depende principalmente de la superficie de las placas conductoras que lo conforman y del grosor del dieléctrico, en donde otros factores como el ESR con valores dentro del estándar de calidad no son factores que afecten la capacidad del dispositivo para almacenar cargas. Esto quiere decir que para un lote de capacitores con exactamente la misma capacitancia se espera que todos los dispositivos almacenen la misma cantidad de carga en sus placas. Si el valor de ESR es el mismo en todos los capacitores también se espera que esta resistencia parasita disipe la misma cantidad de calor en todos los capacitores debido al efecto Joule, fenómeno que también se ha investigado en otras partes del capacitor, como lo es el dieléctrico (Kim et al., 2011).

Se sabe que cuando se presenta una conexión marginal se debe incrementar la resistencia serie y también sabemos que al cargar varios capacitores del mismo valor bajo las mismas condiciones de operación (voltaje-corriente), estos deben almacenar la misma cantidad de cargas en todo momento; lo cual implica que al cargar o descargar los capacitores se movilizarán las mismas cantidades de carga haciendo fluir corrientes iguales en las terminales de conexión, en donde por efecto Joule

habrá un incremento de temperatura mayor en los dispositivos con mayor resistividad en sus terminales de conexión. Según el porcentaje de conexión marginal será la cantidad de temperatura extra generada en las terminales de conexión comparada con la temperatura de capacitores sin fallas de conexión marginal.

Por otro lado, existe evidencia de que bajo ciertas condiciones es posible acelerar el proceso de prueba de fallas para capacitores de tantalio (Virkki et al., 2010). Es decir, se diseña un sistema de prueba que emula las condiciones de operación del producto donde comúnmente es utilizado el capacitor con el fin de acelerar el proceso de envejecimiento del dispositivo y verificar los mecanismos que puedan generar las fallas. La forma de acelerar este proceso generalmente consta de crear ambientes controlados donde se pueda manipular la temperatura, la humedad, los voltajes o las corrientes, siempre llevándolos a valores máximos tolerables para el dispositivo sin causar un daño irreversible. El objetivo del presente trabajo es poder acelerar el proceso de prueba y además evitar el deterioro del tiempo de vida de los capacitores bajo prueba. En la Figura 1 se muestra el esquema completo del SIDECOM propuesto, en el que se enmarcan las partes que conforman el sistema.

De acuerdo con la Figura 1, el capacitor en estudio debe montarse sobre un circuito de prueba, el cual aplica de manera controlada un voltaje que lo estresa eléctricamente en las terminales, sin sobrepasar las condiciones máximas de operación (de acuerdo a las especificaciones del fabricante)

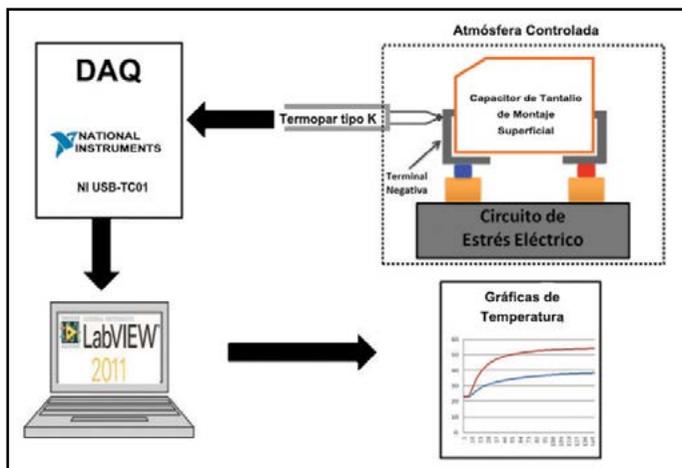


Figura 1. Sistema detector de conexiones marginales (SIDECOM).

para evitar disminuir el tiempo de vida o inclusive dañarlo. El estrés eléctrico provocará que el dispositivo presente un incremento de temperatura, la cual estará en relación con el porcentaje de unión marginal entre los elementos internos del capacitor. La medición de temperatura se realiza utilizando un termopar tipo K con un punto de contacto con el capacitor justamente en la primera sección de la terminal negativa que sobresale del encapsulado y así evitar pérdidas de calor por disipación. Esta etapa del proceso se realizó bajo condiciones de ambiente cerrado dentro del laboratorio de Electrónica de la Universidad Politécnica de Victoria para evitar mediciones erróneas por cambios de la temperatura ambiental o corrientes de aire que ventilen el calor disipado por el dispositivo.

La temperatura ambiental en cada prueba fue controlada para mantenerse en 23 °C, temperatura y ambiente similares a los utilizados dentro de una fábrica de capacitores. La señal de temperatura suministrada por el termopar es adquirida y procesada por un dispositivo de adquisición de datos de la marca National Instruments (NI USB-TC01), el cual está conectado a una PC en donde se grafican y almacenan las mediciones realizadas para su posterior análisis. El sistema de adquisición de datos integrado en la PC trabaja bajo el entorno de LabView de National Instruments (Versión 2011).

Para la realización del estudio se obtuvieron muestras de capacitores de una línea de producción, de las cuales el fabricante identificó por inspección de rayos X algunas piezas con conexión marginal y otras sin ella. Debe hacerse notar que dicha inspección es un proceso veloz realizado por un operador humano que utiliza la percepción visual como criterio para determinar si la imagen de rayos X de una pieza muestra una conexión marginal o no. En la Tabla 1 se denotan las principales características de las muestras obtenidas.

Tabla 1. Características específicas de los capacitores bajo prueba

Capacitancia	10uF
Tolerancia	+/-10%
Voltaje Nominal	10v
Aplicación	Propósito General
ESR	3.3 Ohm
Corriente de Fuga	1uA

Para lograr la detección de la conexión marginal es necesario que cada prueba se desarrolle durante 180 segundos (tiempo suficiente para obtener una medición estable de la temperatura) mediante un voltaje igual al máximo tolerable por la tecnología de fabricación que estrese eléctricamente al capacitor. Se realizaron varias pruebas por muestra para comprobar que el método es funcional y reproducible al analizar estadísticamente los datos obtenidos de las diferentes pruebas y obtener curvas representativas del calentamiento en función del tiempo de prueba.

RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de la medición de la temperatura en la terminal negativa de 10 capacitores examinados mediante rayos X, en donde cinco de ellos fueron catalogados con conexión marginal y otros cinco sin falla. Además se debe considerar que los 10 capacitores pasan las pruebas de calidad de CAP, ESR y *leakage*, entre otras. La Figura 2 muestra de manera gráfica las curvas de temperatura obtenidas de dos capacitores analizados en el SIDECOM, con y sin conexión marginal, respectivamente. Se realizaron cinco pruebas para cada capacitor con el objetivo de validar los resultados obtenidos y garantizar que el experimento fuera reproducible. En el caso del capacitor con conexión marginal (curvas rojas) alcanzan un máximo alrededor de los 60 °C y para el capacitor sin falla (curvas azules) las temperaturas se elevan alrededor de los 32 °C. Con esto se corrobora

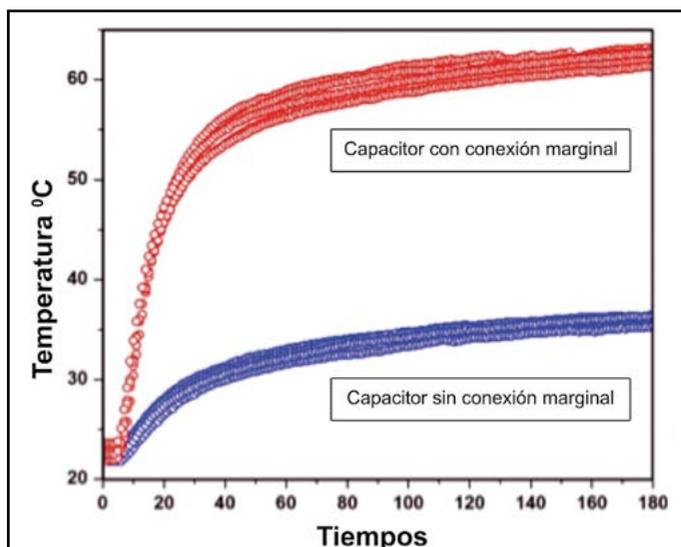


Figura 2. Respuesta térmica de los capacitores analizados en el SIDECOM.

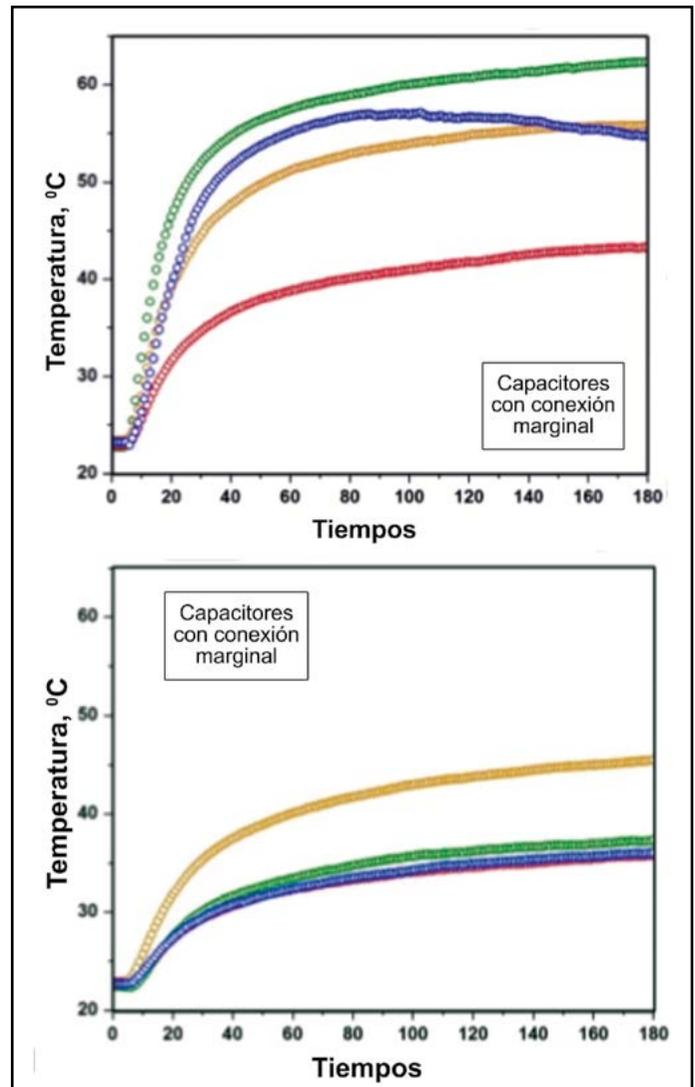


Figura 3. Curvas de temperatura promedio de las pruebas sobre diferentes muestras de capacitores.

que las condiciones ambientales y el sistema SIDECOM son confiables para realizar la prueba de las demás piezas.

La Figura 3 presenta la comparación gráfica entre las curvas de capacitores con y sin conexión marginal. Cada curva corresponde al promedio de cinco pruebas realizadas sobre cada uno de los capacitores analizados.

DISCUSIÓN

Al analizar las curvas de la Figura 2 correspondientes a los capacitores sin conexión marginal (color azul) se puede observar que las cinco pruebas presentaron la misma tendencia y se registraron

temperaturas máximas entre los 30 °C y 35 °C. Para el caso de las muestras con conexión marginal (color rojo), las cinco curvas presentaron pendientes más pronunciadas en los primeros instantes de las pruebas y alcanzaron temperaturas máximas entre los 60 °C y los 63 °C. Con estos resultados se puede demostrar un comportamiento térmico diferente entre los capacitores con y sin conexión marginal.

De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 3, dentro del conjunto de muestras sin conexión marginal se observa que un capacitor se encuentra fuera del rango de temperatura por encima de la promedio (curva color amarillo). Esto se puede interpretar como que, a pesar de las inspecciones de calidad realizadas a este dispositivo, presenta cierto porcentaje de marginalidad (desunión) entre las soldaduras de sus elementos internos, lo que se refleja en un exceso de temperatura en respuesta a un flujo de corriente. Un caso similar se puede encontrar en las curvas del conjunto de muestras con conexión marginal, en específico la curva de color rojo. Se observa que dicha curva se encuentra fuera del rango de temperatura máxima alcanzada y presenta una temperatura menor que la promedio. Esto se puede interpretar como que, a pesar de haber sido clasificado como un capacitor con conexión marginal (imagen de rayos X) la falla se presenta en un bajo porcentaje.

Sin embargo, para solventar estas afirmaciones es necesario analizar mayor cantidad de muestras para determinar las zonas de clasificación de

capacitores. En este mismo conjunto de pruebas se observa que la curva azul alcanza el rango de temperaturas elevadas características de una conexión marginal pero presenta una respuesta diferente a las demás, primero alcanza un máximo de temperatura para después iniciar un descenso de la misma. El dispositivo SIDECOM no explica la naturaleza de este fenómeno, pero es posible que se genere al rebasar el voltaje de ruptura del dieléctrico y lo dañe momentáneamente, mientras se efectúa un proceso de reconstrucción llamado *self-healing* (Fritzler et al., 2014). El *self-healing* o autocurado implica un daño en el dieléctrico, por lo que durante el tiempo que esté presente el daño habrá una disminución drástica de la resistencia y una menor oposición al flujo de corriente. Es decir, a menor resistencia menor disipación de calor debido al efecto Joule causado en el dieléctrico (Kim et al., 2011).

Los resultados presentados en la Figura 3 fueron promediados para generar las curvas de la Figura 4 y así poder clasificar los capacitores con o sin este tipo de falla interna mediante una herramienta visual. Al observar estas curvas está claro que se puede establecer un valor intermedio como referencia o límite entre partes buenas o defectuosas o, visto de otra forma, como zonas de estabilidad o clasificación de capacitores con y sin conexión marginal. Bajo esta perspectiva, los resultados obtenidos muestran ser congruentes con los resultados arrojados por un análisis de rayos X. Es decir, aquellos capacitores donde la imagen de rayos X evidenció una conexión

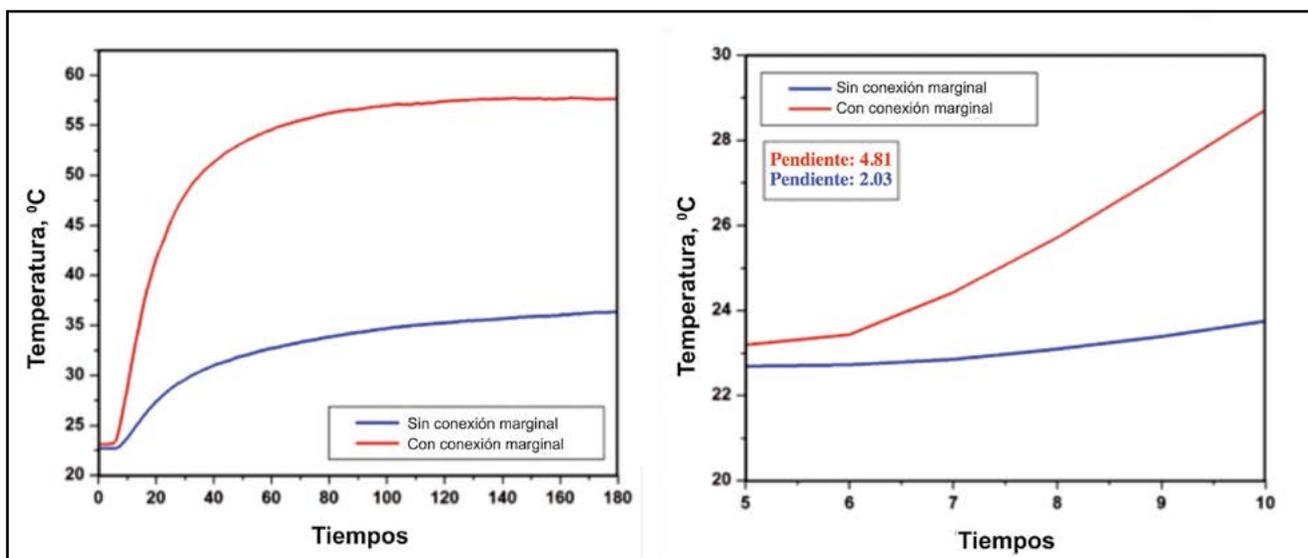


Figura 4. Curvas de temperatura promedio de todas las pruebas realizadas sobre los capacitores.

marginal también elevaron su temperatura a niveles considerados como causa de una conexión marginal al ser probados con el SIDECOM. Se sabe que un proceso industrial maneja altas velocidades de producción, un capacitor debe producirse en segundos.

Si lo que se desea es una discriminación de capacitores defectuosos sobre la línea de producción se debe garantizar que el tiempo de prueba por pieza se ajuste a los tiempos de producción del fabricante. La medición de una temperatura estable con el SIDECOM requiere de un periodo de tiempo muy grande comparado con los requeridos por los procesos de fabricación. Sin embargo, si se observa de nuevo la Figura 4, se notará que en los primeros segundos de la prueba se observa que el incremento de temperatura para capacitores defectuosos es mayor que en aquellos sin fallas. Esta característica puede hacer posible que el sistema SIDECOM sea utilizable dentro de una línea de producción al medir

pendientes de cambio de temperatura en vez de temperaturas máximas.

CONCLUSIONES

Es posible la detección de conexiones marginales en capacitores de tantalio de montaje superficial mediante la medición de la temperatura en sus terminales cuando se les induce estrés eléctrico controlado. Los resultados obtenidos se pueden utilizar para construir gráficos de aceptación que permitirán identificar y posteriormente segregar aquellos capacitores que presenten conexión marginal. SIDECOM es un sistema propuesto que demostró ser viable para su implementación industrial, debido a su velocidad de respuesta, empleo de pruebas no destructivas y generación de resultados congruentes con los obtenidos por un análisis de rayos X. La eficiencia, eficacia y la automatización de SIDECOM son áreas de oportunidad factibles de ser mejoradas.

LITERATURA CITADA

- BHARGAVA, C. et al. Failure Prediction and Health Prognostics of Electronic Components: A Review. *Proceedings of the 2014 Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS)*, 1-5, 2014.
- ENRÍQUEZ HARPER, G. *Fundamentos de electricidad, dispositivos y circuitos en corriente continua*. Editorial Limusa, 1990.
- FRITZLER, T. et al. Scintillation Conditioning of Tantalum Capacitors With Manganese Dioxide Cathodes. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, 14(2): 630-638, 2014.
- GILL, J. *Basic Tantalum Capacitor Technology*. Paignton, England: AVX Ltd., Tantalum Division, 2012.
- HAHN, R. y PAULSEN, J. Low-Impedance Ta Capacitors to Serve the Needs of the Electronics Industry. *20th Passive Components Symposium; CARTS-EUROPE 2006, CARTS EUROPE*, 20: 129-138, 2006.
- KIM, Y. et al. Nonlinear Phenomena in Multiferroic Nanocapacitors: Joule Heating and Electromechanical Effects. *ACS Nano*, 5(11): 9104-9112, 2011.
- NISHINO, A. Capacitors: Operating Principles, Current Market and Technical Trends. *Journal of Power Sources*, 60: 137-147, 1996.
- VASINA, P. et al. Failure Modes of Tantalum Capacitor Made from Different Technologies. *Microelectronics Reliability*, 42(6): 849-854, 2002.
- VIRKKI, J. et al. Accelerated Testing for Failures of Tantalum Capacitors. *Microelectronics Reliability*, 50: 217-219, 2010.

De páginas electrónicas

- QAZI, J. An Overview of Failure Analysis of Tantalum Capacitors. *Electronic Device Failure Analysis*, ASM International, 16(2): 18-23, 2014. Recuperado de <http://www.kemet.com/Lists/TechnicalArticles/Attachments/199/2014%20EDFA%20Tantalum%20Cap%20Failure%20Analysis%20Review%20by%20Javaid%20Qazi.pdf>

La corrosión atmosférica en la industria electrónica de Mexicali evaluada con gráficos ABC

Atmospheric corrosion in the electronic industry of Mexicali evaluated by ABC graphs

Gustavo López Badilla^{1*}, Arcelia Gómez Rodríguez², Elizabeth Romero Samaniego³, Sandra Luz Toledo Perea³, Julio César Castillo Moreno⁴, Pamela Gómez Onod⁴, Tomás Rosendo Félix Domínguez⁴

López Badilla, G., Gómez Rodríguez, A., Romero Samaniego, E., Toledo Perea, S. L., Castillo Moreno, J. C., Gómez Onod, P., Félix Domínguez, T. R. La corrosión atmosférica en la industria electrónica de Mexicali evaluada con gráficos ABC. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 41-46, enero-abril 2015.

RESUMEN

La industria electrónica ha crecido en los últimos 50 años, sobre todo en los países desarrollados, y ha significado una contribución importante a su economía. Estas empresas han prosperado particularmente en Mexicali, Baja California, que se ubica en el noroeste de México. En la industria electrónica de esta ciudad los equipos electrónicos industriales disminuyen su nivel de operación por la exposición a la corrosión atmosférica y generan fallas eléctricas de manera continua o en ciertos periodos. Con base en esto se desarrolló un estudio para determinar las principales causas de la reducción del rendimiento operativo de los equipos electrónicos mediante los gráficos ABC como herramienta de análisis. El rendimiento operativo fue menor en invierno, con índices de humedad relativa y temperatura mayor al 70% y 25 °C, así como el bióxido de azufre (SO₂) que reaccionan con metales utilizados

Palabras clave: corrosión atmosférica, industria electrónica, gráficos ABC, factores climáticos, contaminantes del aire, equipos electrónicos industriales.

Keywords: atmospheric corrosion, electronic industry, ABC graphics, climatic factors, air pollutants, industrial electronic equipments.

Recibido: 14 de noviembre de 2013, **aceptado:** 25 de julio de 2014

¹ Departamento de Ciencias Básicas, Instituto Tecnológico de Mexicali.

² Departamento de Ciencias Económicas Administrativas, Instituto Tecnológico de Mexicali.

³ Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Ensenada.

⁴ Carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial, Instituto Tecnológico de Mexicali.

* Autor para correspondencia: glopezbadilla@yahoo.com

en la industria electrónica y promueven rápidamente la corrosión.

ABSTRACT

Electronic industry has grown in the last 50 years, especially in developed countries, contributing to its economy. Particularly in Baja California, located in the northwest of Mexico, these companies have prospered in Mexicali. In the electronic industry of this city, industrial electronic equipments reduce their operating level by the exposure to the atmospheric corrosion, generating electrical failures continuously or at certain moments. Based on this, a study to organize and then determine the main causes of the reduction of the operating yielding of the electronic equipments, using the ABC graphics was made. Operating yielding was lower in winter at indices of relative humidity and temperature higher than 70% and 25 °C and the concentrations of sulfur that exceeded the air quality standard, occurring the corrosion phenomenon.

INTRODUCCIÓN

La industria electrónica representa gran parte del sector productivo a nivel mundial y por eso es importante en la economía de cada país con empresas que se dedican a la manufactura de artículos electrónicos (López Badilla et al., 2011). En este tipo de empresas se utilizan herramientas con métodos estadísticos como los gráficos ABC para análisis de control de inventarios de partes de maquinaria industrial y materia prima, además de evaluaciones del rendimiento y productivo

(López Badilla et al., 2007). En el presente estudio se plantea el uso de esta herramienta para análisis de organización de causas de fallas eléctricas originadas por la corrosión. Los equipos y sistemas electrónicos utilizados en empresas contienen gran variedad de microdispositivos electrónicos que operan. Si la funcionalidad de algunos de estos componentes electrónicos disminuye, se afectan los equipos industriales y disminuye su rendimiento operativo (Chongchen, 2003; López Badilla, 2008).

Los sulfuros que reaccionan con superficies metálicas de conductividad eléctrica de equipos industriales penetran por orificios, rendijas y sistemas de aires acondicionados e incluso, en ocasiones, por los filtros que están colocados en las construcciones de las empresas (Veleva et al., 2008; López Badilla et al., 2011). Debido a esto se genera la corrosión y se reduce el tiempo de vida operativo de los equipos industriales, que dejan de funcionar antes de lo previsto por el proveedor (Shank y Govindarajan, 2003). Debido a ello se originan pérdidas económicas, que en Estados Unidos se estiman hasta en 276 billones de dólares al año (López Badilla, 2008) en las plantas industriales, y una gran preocupación al personal operativo, especializado y gerencial. Es muy común en empresas de esta región utilizar gráficos ABC (Kaplan y Cooper, 2000).

Corrosión atmosférica en interiores de la industria electrónica

A niveles mayores de 70% y 25 °C de humedad relativa (HR) y temperatura, respectivamente, se inicia el proceso de corrosión en interiores de plantas industriales de ambientes áridos como lo es la ciudad de Mexicali. Esto genera un mayor cambio en el estado de valencia de los metales usados en dispositivos electrónicos de equipos industriales activos que se deterioran más rápido (Moncmanova, 2007). La corrosión es causada por la reacción química de la exposición a metales por sulfuros, NOx, amoníaco y compuestos orgánicos principalmente; y los sulfuros son los que generan un efecto mayor en el deterioro de los materiales metálicos (López Badilla et al., 2011).

En el proceso de corrosión los materiales metálicos sufren modificaciones que cambian sus propiedades fisicoquímicas. Un factor que influye para que ocurran las fallas eléctricas de equipos industriales es que los índices de calidad del aire (ICA) de contaminantes del aire como el sulfuro son superados cada año. Dichos índices fueron

propuestos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) de México y la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos (López Badilla, 2008). La formación de películas en metales incrementa su resistencia y esto genera falta de conductividad eléctrica y fallas eléctricas.

Gráficos ABC

Los gráficos ABC son una importante herramienta en áreas de manufactura de la industria electrónica con el uso de métodos estadísticos que proporcionan información relevante de sucesos de interés en operaciones (Cartier, 2004). La información obtenida se concentra en secciones por niveles de porcentajes y se muestran los tres principales tipos de grupos de los datos evaluados. Estos datos pueden ser parte de las letras del gráfico: A, que es una sección del gráfico; B, un área de la misma representación gráfica; y C, como último conjunto de datos analizados. Al gráfico ABC se le denomina también *distribución ABC* o *representación gráfica de la regla 80/20*.

MATERIALES Y MÉTODOS

La generación de corrosión en interiores de la industria electrónica de Mexicali preocupa al personal operativo especializado, directivo y gerencial por originar pérdidas económicas. Con base en diversas situaciones problemáticas presentadas en una empresa de esta ciudad se desarrolló un estudio para determinar de manera específica las causas principales del bajo rendimiento operativo de equipos industriales de la compañía donde se realizó la investigación. Una de las herramientas principales fue el uso del gráfico ABC para obtener diversas representaciones gráficas, con el cual se organizaron las causas principales del bajo rendimiento operativo. La investigación se realizó en el periodo comprendido desde enero de 2010 hasta diciembre de 2011 en tres etapas:

- 1) Análisis del historial de fallas eléctricas de 10 equipos industriales por periodos horarios, diarios, semanales, mensuales, estacionales y anuales, por medio de un programa de cómputo industrial llamado Scandia enlazado a una computadora para desarrollar de manera remota e instantánea las evaluaciones con el programa MatLab.
- 2) Se evaluaron los niveles de HR y temperatura con un higrómetro especializado que contiene un termómetro digital Mendity Instruments Co. en periodos horarios, diarios, semanales, mensuales,

estacionales y anuales. En conjunto se utilizó un instrumento de Gasman N-15 para monitorear los sulfuros en los mismos periodos, y la velocidad de corrosión con el método gravimétrico para determinar los niveles de corrosividad con los estándares ASTM (2000) e ISO (2005).

- 3) Se determinaron las principales causas del bajo rendimiento operativo de los equipos industriales para ordenarlas de acuerdo al nivel de intensidad y ocurrencia y se realizó un análisis de las superficies metálicas dañadas por la corrosión con la técnica de microscopía de barrido electrónico.

RESULTADOS

Evaluación de fallas eléctricas

Los periodos del estudio en los que se presentaron mayor cantidad de fallas eléctricas de los equipos industriales fueron, durante el verano, en julio y agosto; y en el invierno, en diciembre y enero. Esto ocurrió así por el efecto de la condensación, ya que en verano se forma la película de agua visible o invisible y se evapora más rápido que en el periodo invernal. Las Tablas 1, 2 y 3 muestran el análisis de acuerdo a las causas en orden decreciente de intensidad para el análisis horario, diario, semanal, mensual, estacional y anual. Tanto en la máquina axial como en la radial se asemejaron las causas de su defectuosa inoperatividad, solamente difiere la manera de colocación de componentes electrónicos.

En las Tablas 1, 2 y 3 se presentaron los porcentajes mayores de las fallas eléctricas en el turno matutino; los menores índices se encontraron en el horario vespertino. Esto indica que en el transcurso de la noche y madrugada se generaba el efecto de la condensación y con el incremento de

al menos 1 °C a 2 °C por la mañana se originaba la corrosión en las conexiones y conectores eléctricos de los equipos y sistemas eléctricos y electrónicos de la planta industrial analizada. En las evaluaciones diarias se presentaron las de mayor escala en días de inicio y final de semana, donde se observó que el fenómeno electroquímico se presentó de manera continua en estos días.

A nivel semanal, los periodos con mayores índices de fallas eléctricas fueron en las semanas correspondientes a los meses de enero, febrero y noviembre y a los meses de julio y agosto, en donde los niveles de HR fueron mayores al 80% y menores a 25 °C de temperatura. Lo mismo ocurrió al analizar en el periodo mensual, en el que la época invernal fue clave en la generación de fallas eléctricas de la maquinaria industrial y a nivel anual 2011 fue el de mayores índices, debido a que cada año en la ciudad de Mexicali se observa al menos el cambio de un pequeño porcentaje desde 1% hasta 3% de HR y un incremento en verano y decremento en invierno de al menos un 1 °C en la temperatura. Estas pequeñas variaciones modifican las atmósferas exteriores de las empresas y hacen variar sus ambientes de interior.

Los datos de las tablas 1, 2 y 3 son de importancia para conocer el rendimiento de los equipos industriales. Los índices de fallas eléctricas ayudan a conocer los periodos con mayor incidencia y a tomar medidas de prevención. Esto aunado al efecto negativo de los niveles de calidad del aire que aumentaron cada año y generan ambientes agresivos en los interiores de las empresas con sus consecuentes pérdidas económicas.

Tabla 1. Evaluación de fallas eléctricas en máquinas de sección axial (2010-2011)

Causas de inadecuada operatividad de máquina axial	Periodos					
	Horario	Diario	Semanal	Mensual	Estacional	Anual
Inadecuada alineación en instalación principal de componente electrónico	1 (33%) 10 a.m.	1 (31%) Jueves	1 (30%) Semana 3	1 (34%) enero	1 (33%) invierno	1 (30%) 2011
Deficiencia en suministro de aire comprimido del sistema electro-neumático de la máquina	2 (26%) 12 a.m.	2 (25%) Lunes	2 (25%) Semana 49	2 (26%) diciembre	2 (28%) invierno	2 (25%) 2011
Operación defectuosa del alimentador de componentes electrónicos por falta de ajuste	3 (18%) 5 p.m.	3 (21%) Martes	3 (21%) Semana 7	3 (18%) febrero	3 (21%) invierno	3 (22%) 2011
Falta de comunicación de la computadora con el programa de operación con la máquina	4 (13%) 2 p.m.	4 (15%) Jueves	4 (13%) Semana 30	4 (12%) agosto	4 (11%) verano	4 (14%) 2010
Desajuste en los sistemas de detección de componentes mal instalados	5 (10%) 4 p.m.	5 (08%) Viernes	5 (11%) Semana 25	5 (10%) julio	5 (7%) [^] verano	5 (9%) 2010

Tabla 2. Evaluación de fallas eléctricas en máquinas de sección radial (2010-2011)

Causas de inadecuada operatividad de máquina radial	Periodos					
	Horario	Diario	Semanal	Mensual	Estacional	Anual
Inadecuada alineación de parte principal de instalación de componente electrónico	1 (31%) 11 a.m.	1 (32%) jueves	1 (29%) Semana 4	1 (30%) enero	1 (31%) invierno	1 (29%) 2011
Deficiencia en suministro de aire comprimido del sistema electro-neumático de la máquina	2 (25%) 12 p.m.	2 (23%) martes	2 (24%) Semana 47	2 (26%) diciembre	2 (26%) invierno	2 (26%) 2011
Operación defectuosa del alimentador de componentes electrónicos por falta de ajuste	3 (20%) 3 p.m.	3 (19%) martes	3 (21%) Semana 8	3 (20%) febrero	3 (20%) invierno	3 (20%) 2011
Falta de comunicación de la computadora con el programa de operación con la máquina	4 (13%) 2 p.m.	4 (15%) viernes	4 (16%) Semana 29	4 (13%) agosto	4 (15%) verano	4 (15%) 2010
Desajuste en los sistemas de detección de componentes mal instalados	5 (11%) 5 p.m.	5 (11%) viernes	5 (10%) Semana 26	5 (11%) julio	5 (8%) [^] verano	5 (10%) 2010

Tabla 3. Evaluación de fallas eléctricas en máquinas de prueba eléctrica (2010-2011)

Causas de inadecuada operatividad de máquina radial	Periodos					
	Horario	Diario	Semanal	Mensual	Estacional	Anual
Componente faltante en tablero no detectado por el equipo de prueba eléctrica	1 (30%) 10 a.m.	1 (31%) jueves	1 (29%) Semana 5	1 (31%) febrero	1 (30%) invierno	1 (29%) 2011
Comunicación inadecuada del equipo hacia la computadora y no detecta posición adecuada de componentes en el tablero	2 (24%) 11 a.m.	2 (24%) martes	2 (25%) Semana 48	2 (25%) enero	2 (25%) invierno	2 (25%) 2011
Información errónea en equipo de prueba del valor adecuado de componentes instalados en el tablero	3 (19%) 4 p.m.	3 (18%) lunes	3 (20%) Semana 9	3 (19%) diciembre	3 (21%) invierno	3 (19%) 2011
Bloqueo del programa en equipo de prueba por baja conductividad eléctrica y necesario volver a encender sistema de programación	4 (15%) 3 p.m.	4 (15%) viernes	4 (17%) Semana 29	4 (14%) julio	4 (15%) verano	4 (16%) 2010
Plantilla de detección de componentes instalados en el tablero con defectos causaba confusión en la programación	5 (12%) 5 p.m.	5 (12%) jueves	5 (9%) Semana 27	5 (11%) agosto	5 (9%) [^] verano	5 (11%) 2010

Análisis con gráficos ABC

Las evaluaciones se realizaron con gráficos ABC indicando los principales tipos de causas de fallas eléctricas en la maquinaria industrial. La Figura 1 indica las zonas del gráfico A, B y C, con los tres primeros tipos de FE en el 44% que es la región A, después la zona B, aunada a la A, de 66%; y finaliza el análisis con el área C, que representa una diferencia de la zona anterior al final de 34%. La Figura 1 es parte de la evaluación de la máquina radial en el periodo horario, en donde se observa que los tres primeros tipos de fallas eléctricas representan el 44%, que es la zona A, después la región B que alcanza el 69% y, por último, la zona C, con la que se llega al 100%. La Figura 2 presenta índices porcentuales de la máquina radial en el periodo diario; el 45% en la zona A, del 68% en la B y totaliza el 100% la región C, que indica que al igual que los gráficos anteriores los tres

primeros tipos de FE representan aproximadamente el 70%.

La Figura 2 es parte del análisis de la máquina radial en el periodo mensual mostrando niveles porcentuales del 44% en la zona A, 70% en la región B y el área C con 100%. En éste gráfico se contemplan las diferencias entre zonas para determinar cuál de los cinco tipos de fallas eléctricas evaluados se pueden valorar de manera rápida y fácil para ir eliminando poco a poco las FE que ocasionen la preocupación de todo el personal que labora en esta empresa. Se realizaron evaluaciones para la época invernal en cada año del estudio y en la máquina axial, por ser en donde más se presentaban las FE. El análisis en la Figura 3 muestra los índices porcentuales de la máquina radial con una evaluación semanal, siendo en la región A 47%, la región B 71% y el área C que conlleva al 100%.

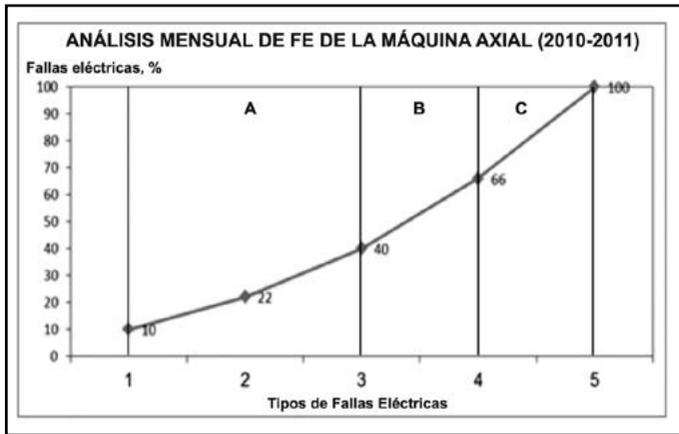


Figura 1. Evaluación mensual de las FE generadas en la máquina axial (2010-2011).

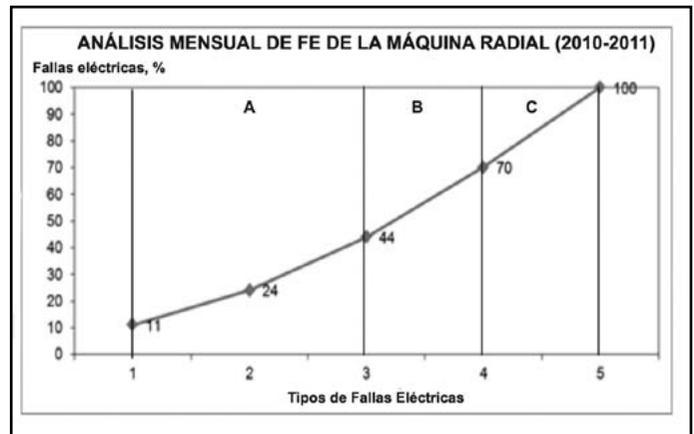


Figura 2. Evaluación mensual de las FE generadas en la máquina radial (2010-2011).

Una vez elaboradas las evaluaciones con los gráficos ABC se procedió a realizar un análisis de correlación de las variables de clima, fallas eléctricas y velocidad de corrosión (VC), que indica el grado de deterioro de las conexiones y conectores eléctricos de los equipos y sistemas electrónicos de la industria electrónica.

Análisis de microscopía

Los agentes contaminantes que se adhirieron a las superficies metálicas generaron la corrosión y sus porcentajes se obtuvieron mediante un análisis a nivel microscópico en donde se observa el deterioro en las microfotografías (Figura 4). La Figura 4a muestra en tonalidad clara el daño en las conexiones eléctricas de los equipos electrónicos en la época de verano y en la Figura 4b se observa en tonalidad oscura para el invierno, ello debido a la presencia de humedad en mayor cantidad de ocasiones. Este análisis describe con detalle lo que ocurre a escala microscópica.

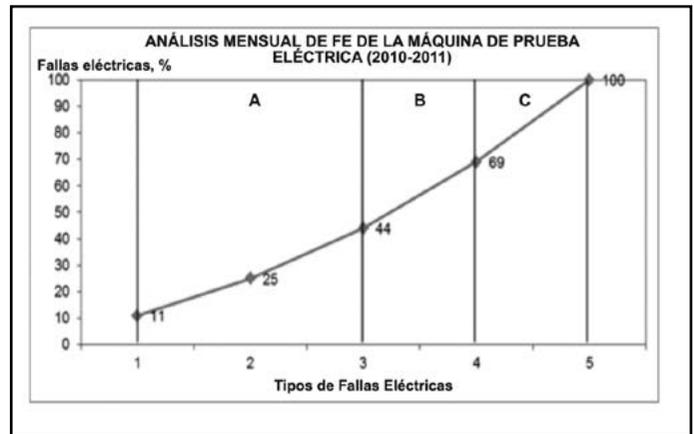


Figura 3. Evaluación mensual de las FE generadas en la máquina de prueba eléctrica (2010-2011).

DISCUSIÓN

La presencia de corrosión en equipos industriales de la industria electrónica de Mexicali origina su inadecuada operación con fallas eléctricas. Esto tiene como consecuencia la disminución de operatividad y en ocasiones la entrega tardía de los productos a los clientes, lo que podría ocasionar la posibilidad de pérdida de los usuarios. Una de las herramientas que ayudan a determinar las causas de una diversidad de factores en situaciones problemáticas son los gráficos ABC, al organizar los principales factores con efecto negativo y mostrar las que se pueden resolver de manera inmediata

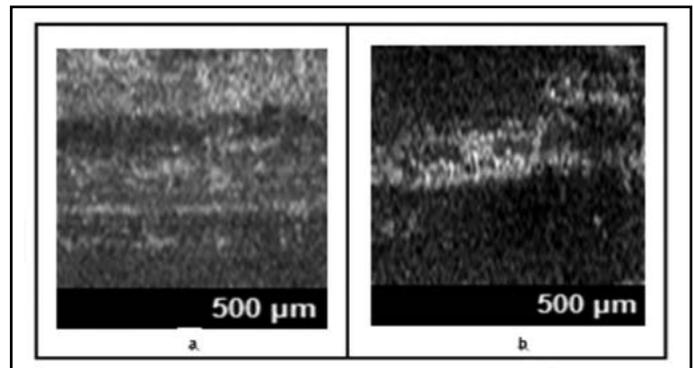


Figura 4. Microfotografía de deterioro de conexiones eléctricas de equipos industriales en la época de (a) verano y (b) invierno.

para reducir o eliminar las causas principales. De acuerdo a análisis con los gráficos ABC, las fallas eléctricas (FE) con mayores niveles de incidencia y de mayor preocupación para el personal de la empresa fueron los tres primeros datos de cada tabla,

donde se indicaron los porcentajes. Cabe señalar que con base en las evaluaciones con los gráficos ABC se presentaron otras FE en menor escala y se tomaron solo estas por ser las de mayor ocurrencia y las indicadas por la compañía para ser evaluadas y su información organizada con base en tablas y gráficas.

CONCLUSIONES

El uso de gráficos ABC en los procesos de manufactura de la industria electrónica es parte fundamental en la detección de causas de paros de actividades que tanto preocupan al personal

de este tipo de plantas industriales. En este estudio se identificaron las opciones más importantes de lo que originaba el bajo rendimiento operativo de la maquinaria industrial de la empresa que permitió realizar la investigación. El efecto de la corrosión en el deterioro de las conexiones y conectores eléctricos de equipos y sistemas eléctricos y electrónicos de esta compañía fue un aspecto importante en la generación de fallas eléctricas. Esto ocasionó que en ciertos periodos horarios, diarios, semanales, mensuales, estacionales y anuales se presentaran las FE con mayor incidencia, lo que mantenía alerta al personal especializado y gerencial, pero descuidaban otras operaciones que debían realizar.

LITERATURA CITADA

- ASTM Analysis Standards Techniques of Measurements, 2000.
- CARTIER, E. N. El costeo basado en actividades y la teoría del costo, 11, 1994.
- CHONGCHEN, X. Corrosion in Microelectronics. En *Partial Fulfillment of MatE 234*, 2003.
- ISO 11844-2. Corrosion of metals and alloys-Classification of low corrosivity of indoor atmospheres-Determination and estimation attack in indoor atmospheres. Geneva, ISO: 2005.
- KAPLAN, R. S. y COOPER, R. *Gráficos ABC: costo y efecto*. España: Editorial Gestión, 2000.
- LÓPEZ BADILLA, G. *Caracterización de la corrosión en materiales metálicos de la industria electrónica en Mexicali*, B. C. Tesis de Doctorado, 2008.
- LÓPEZ BADILLA, G. et al. Análisis de EEA en la corrosión de cobre utilizado en la industria electrónica de ambientes áridos y marinos. *Nova Scientia*, 4(7 noviembre-abril): 1-16, 2011.
- LÓPEZ BADILLA, G. et al. Corrosion of metals at indoor conditions in the electronics manufacturing industry. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 54(6): 354-359, 2007.
- MONCMANOVA, A. *Advances in Architecture Series: Environmental Deterioration of Materials* (pp 108-112). WITPress, 2007.
- SHANK, T. y GOVINDARAJAN, V. *Gráficos ABC: el alto costo de producir*. Trillas, 2003.
- VELEVA, L. et al. Atmospheric corrosion of electro-electronics metals in urban desert simulated indoor environment. *Corrosion Engineering Science and Technology*, 43(2): 149-155, 2008.

Modelos de ahusamiento y volumen comercial para *Pinus oocarpa* y *Pinus douglasiana* en la región de Pueblo Nuevo, Durango

Models of taper and merchantable volume for *Pinus oocarpa* and *Pinus douglasiana* in the region of Pueblo Nuevo, Durango

Juana Constanza López Martínez^{1*}, Francisco Cruz Cobos², Juan Abel Nájera Luna², Francisco Javier Hernández²

López Martínez, J. C., Cruz Cobos, F., Nájera Luna, J. A., Hernández, F. J. Modelos de ahusamiento y volumen comercial para *Pinus oocarpa* y *Pinus douglasiana* en la región de Pueblo Nuevo, Durango. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 47-53, enero-abril 2015.

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue ajustar 10 modelos compatibles de ahusamiento y volumen comercial para la región de Pueblo Nuevo, Durango. Los datos provienen de 163 árboles de *Pinus oocarpa* y 223 de *Pinus douglasiana*, a los cuales se les midió el diámetro a diferentes alturas del árbol y la altura total. Se calculó el volumen; con la ecuación del cilindro para el tocón, las trozas intermedias con la de Smalian y la punta con la del cono. El ajuste se realizó a través de Máxima Verosimilitud con Información Completa (FIML), los criterios de selección fueron el Coeficiente de Determinación (R²) y la Raíz del Cuadrado Medio del Error (RCME). El mejor ajuste se obtuvo con el modelo compatible de Cruz et al. (2008), el sistema generado permite estimar los volúmenes comerciales a diferentes secciones del árbol, el diámetro a cualquier altura y la altura a cualquier diámetro.

Palabras clave: diámetro normal, ahusamiento, modelos compatibles, *Pinus oocarpa*, *Pinus douglasiana*, volumen comercial.

Keywords: normal diameter, taper, compatible models, *Pinus oocarpa*, *Pinus douglasiana*, merchantable volume.

Recibido: 13 de noviembre de 2013, aceptado: 5 de enero de 2015

¹ Programa de Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable, Instituto Tecnológico de El Salto.

² División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto.

* Autor para correspondencia: c_lopez_martinez@hotmail.com

ABSTRACT

The objective of this research was to set 10 compatible models of taper and merchantable volume for the region of Pueblo Nuevo, Durango. The data come from 163 trees of *Pinus oocarpa* and 223 of *Pinus douglasiana*, to which the diameter at different heights of the tree and overall height was measured. We calculated the volume; with the equation of the cylinder to the stump, with the Smalian intermediate logs and the tip of the cone. The adjustment was made through Maximum Likelihood with Complete Information (FIML), the selection criteria were the Determination Coefficient (R²) and the Root of the Square Means of Error (RCME). The best fit was obtained with the compatible model Cruz et al. (2008), the generated system allows estimating trading volumes to different sections of the tree, the diameter at any height and height to any diameter.

INTRODUCCIÓN

Posiblemente uno de los elementos más importantes en la evaluación de recursos forestales es la determinación del volumen existente dentro de un rodal. Debido a la dificultad que existe en su medición directa, el volumen se estima en forma indirecta utilizando expresiones matemáticas como las funciones de ahusamiento y volumen comercial, ya que el manejador requiere de estimaciones objetivas del crecimiento e incremento de los árboles (Luján, 2012). Los productores generalmente tienen interés en conocer cuál es el volumen maderable de sus bosques y para poder estimarlo necesitan apoyarse en las tablas de volumen por especie, o bien contar con datos de diámetros y alturas para poder construir las, con el ajuste de

los datos a modelos volumétricos conocidos. En la actualidad existe mayor interés en estimar el *volumen comercial* –que puede definirse como el volumen de fuste comprendido entre la altura del tocón y un diámetro mínimo definido según el destino comercial del mismo–, como se encuentra en Prodan et al. (1997), ya que esto permitirá al productor estimar ingresos por tipos de productos maderables generados en su bosque, y es motivo para buscar alternativas de estimación precisa de la distribución de los mismos mediante modelos de regresión para *P. oocarpa* y *P. douglasiana*, por lo que el objetivo del presente trabajo es ajustar modelos de ahusamiento y volumen comercial que permitan estimar el volumen comercial de los árboles de *P. oocarpa* y *P. douglasiana* de la región de Pueblo Nuevo, Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El área de estudio se ubica al suroeste del estado de Durango, tiene una extensión superficial superior a las 558,000 ha y colinda al norte con las UMAFORES 1006, "San Dimas" y 1007, "Durango" y al este con la UMAFOR 1009 y la 1010 (Figura 1). La altura fluctúa entre los 1,400 y los 2,600 m.s.n.m. De acuerdo a la clasificación de Köeppen modificada por García (1973), presenta climas predominantes de (A) (w_1) semicálido en la región de la cañada y los C (w_2) y (E) (w_3), templado y templado extremo en la parte alta, todos ellos subhúmedos con lluvias en verano. La zona presenta condiciones de vegetación que van desde masas puras de encino y pino y, en su mayor parte, bosques mezclados de pino-encino.

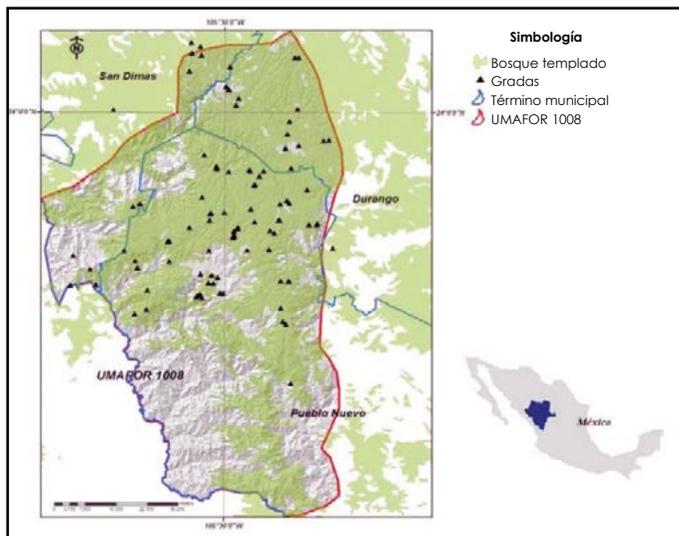


Figura 1. Localización del área de estudio.

Base de datos

Mediante un muestreo destructivo y aprovechando las áreas de corta de los diferentes predios, se derribaron y midieron 386 árboles de los cuales 163 correspondieron a *P. oocarpa* y 223 a *P. douglasiana*, cada individuo presentó características libres de daño físico, mecánico, plagas y enfermedades.

Variables que se midieron

A cada árbol derribado se le tomó la información de control: predio, rodal, número de árbol, especie, fecha, responsable; asimismo, información específica como: altura total (m), y diámetro a diferentes alturas del árbol (cm), como se muestra en la Figura 2. Los árboles se derribaron a una altura máxima de 0.30 m sobre el nivel de suelo, después se obtuvieron dos secciones a 0.30 m. Las siguientes secciones corresponden con el diámetro normal (1.30 m), y a continuación secciones de 2.44 m de longitud, hasta llegar a la punta del árbol.



Figura 2. Toma de datos en diferentes secciones del árbol.

Ecuaciones de volumen y ahusamiento que se ajustaron

En la Tabla 1 se muestran los modelos de ahusamiento y volumen comercial que se ajustaron en el presente estudio. Las expresiones utilizadas cumplen con la condición de que $h=H$ cuando $d=0$. En particular, el modelo de Fang et al. (2000) es segmentado, ya que se compone de submodelos injertados. Este sistema usa distintas ecuaciones para las diferentes partes del fuste del árbol e integra tales ecuaciones de forma que sus primeras derivadas son iguales en el punto de intersección, después se unen con la condición de que las funciones se conectan

correctamente en los puntos de unión para formar un modelo polinomial segmentado (Max y Burkhart, 1976).

Criterios de selección del mejor modelo

La estimación de los sistemas compatibles se realizó de manera simultánea con la técnica de Máxima Verosimilitud con Información Completa (FIML), la cual es apropiada para el ajuste simultáneo (SAS Institute, 2004). Los criterios para juzgar la bondad de ajuste de las ecuaciones de ahusamiento y volumen

comercial se basaron en el análisis numérico donde se utilizaron estadísticos como el Coeficiente de Determinación para Regresión no Lineal (R2) y la Raíz del Cuadrado Medio del Error (RCME).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{Y} - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad RCME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-p}}$$

donde: \bar{Y}_i , \bar{y}_i y Y_i = valor predicho; media y valor observado de la variable dependiente; n= número de observaciones y p= número de parámetros del modelo.

Tabla 1. Modelos compatibles de ahusamiento y volumen comercial

Modelo	Volumen	Ahusamiento
Clutter (1980)	1) $V_c = e^{\alpha_0} D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} (1 - \beta_0 d^{\beta_1} D^{\beta_2})$	$d = \left[\frac{k(H-h)}{\beta_0 \alpha_0 D^{\alpha_1} - \beta_2 H^{\alpha_2}} \left(1 - \frac{2}{\beta_1}\right) \right]^{\frac{1}{\beta_1 - 2}}$
Cruz et al. (2008)	2) $V_c = k D^{\beta} H^{-1} \left(\beta_1 \left((H h_c - \frac{h_c^2}{2}) - (H h_t - \frac{h_t^2}{2}) \right) - \frac{\beta_2}{3H} \left((H h_c)^3 - (H h_t)^3 \right) - \frac{\beta_3}{4H^2} \left((H h_c)^4 - (H h_t)^4 \right) \right)$	$d = \sqrt{D^{\beta} (\beta_0 X + \beta_1 X^2 + \beta_2 X^3)}$
Demaerschalk (1972)	3) $V_c = \frac{k D^{\beta} \beta_0}{\beta_1 + 1} \left[H \cdot \frac{(H-h)^{\beta_1 + 1}}{H^{\beta_1}} \right]$	$d = \sqrt{\beta_0 D^2 X^{\beta_1}}$
Fang y Bailey (1999) caso I a	4) $V_c = e^{\alpha_0} D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} - \beta_0 d^2 h_t$	$d = \sqrt{\frac{\alpha_0}{\beta_0} D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} - k / \beta_0 h_t^{(k-\beta_0)/\beta_0}}$
Fang y Bailey (1999) caso II a	5) $V_c = e^{\alpha_0} D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} - \beta_0 d^{\beta_1} h_t^{\frac{\beta_1}{2}}$	$d = \left[\frac{k(\beta_2 - 1)}{\beta_2 \beta_0} \ln h_t + \left(\frac{\alpha_0 D^{\alpha_1} H^{\alpha_2}}{\beta_0} \right)^{1/\beta_2} - \frac{k(\beta_2 - 1)}{\beta_2 \beta_0} \ln H \right]^{\frac{1}{(2\beta_2 - 2)}} h_t^{-0.5}$
Fang y Bailey (1999) caso II b	6) $V_c = e^{\alpha_0} D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} - \beta_0 d^{\beta_1} h_t^{\beta_2}$	$d = \left[\frac{k(\beta_1 - 2)}{(\beta_1 - 2\beta_2) \beta_0} h_t^{1-2\beta_2/\beta_1} - H^{1-\frac{2\beta_2}{\beta_1}} + \left(\frac{\alpha_0 D^{\alpha_1} H^{\alpha_2}}{\beta_0} \right)^{1-2/\beta_1} \right]^{\frac{1}{(\beta_1 - 2)}} h_t^{-\beta_2/\beta_1}$
Kozak et al. (1969)	7) $V_c = \frac{1}{3} k D^2 \left(\frac{\beta_1}{H^2} \right) h^3 + \frac{1}{2} k D^2 \left(\frac{\beta_0}{H h^2} \right) + k D^2 (-\beta_0 - \beta_1) h$	$d = \sqrt{\beta_0 (q-1) + \beta_1 (q^2 - 1)}$
Lenhart y clutter (1971)	8) $V_c = e^{\alpha_0} D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} - \beta_0 \frac{d^{\beta_1}}{D^{\beta_1 - 2}} (H-1.3)$	$d = \left[D \left(\frac{H-h}{H-1.3} \right) \right]^{\frac{1}{\beta_1 - 2}}$
Piennar y Rehenev (1988)	9) $V_c = \alpha_0 D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} - \beta_0 \frac{d^{\beta_1}}{D^{\beta_1 - 2}} (H-1.3)$	$d = D \left[\frac{H-h}{H-1.3} \right]^{\frac{1}{\beta_1 - 2}}$
Fang et al. (2000)	10) $r_0 = (1 - h_0/H)^{\frac{k}{\beta_1}}$ $r_1 = (1 - p_1)^{\frac{k}{\beta_1}}$ $r_2 = (1 - p_2)^{\frac{k}{\beta_2}}$ $c_1 = \frac{\alpha_0 D^{\alpha_1} H^{\alpha_2} \frac{k}{\beta_1}}{\beta_1 (r_0 - r_1) + \beta_2 (r_1 - \alpha_1 r_2) + \beta_3 \alpha_1 r_2}$ $V_c = c_1^{\frac{k}{\beta_1}} H^{\frac{k}{\beta_1}} \left[\frac{\beta_1 r_0 + (I_1 + I_2) + (\beta_2 - \beta_1) r_1 + I_2 (\beta_3 - \beta_2)}{\alpha_1 r_2 - \beta (1-q)^{\frac{k}{\beta_1}} \alpha_1^{1+I_2} \alpha_2^I} \right]$	$d = c_1 \sqrt{\frac{k - \beta_1}{H^{\beta_1}} (1-q)^{\frac{k - \beta_1}{\beta_1}} \alpha_1^{1+I_2} \alpha_2^I}$ donde $I_1 = 1$ si $p_1 \leq q \leq p_2$; de lo contrario 0 $I_2 = 1$ si $p_2 \leq q \leq 1$; de lo contrario 0 $\beta = \beta_1^{1-(I_1+I_2)} \beta_2^{I_1} \beta_3^{I_2}$ $\alpha_1 = (1-p_1)^{\frac{(\beta_2 - \beta_1)k}{\beta_1 \beta_2}}$ $\alpha_2 = (1-p_2)^{\frac{(\beta_3 - \beta_2)k}{\beta_2 \beta_3}}$

D= diámetro normal (m); d= diámetro (cm) a la altura h (m) desde el nivel del tocón; H= altura total de los arboles (m); ht= altura del tocón (m); hc= altura de la base; Vc= volumen comercial variable en (m3); k= π/40000; α₁, β₁, p₁, p₂= coeficientes a determinar mediante el ajuste; X= (H-h)/H; q= h/H; hb= altura de la base (m); q= h/H.

RESULTADOS
Características de la base de datos

Para observar la dispersión de los datos y detectar datos atípicos en la base que se utilizó se graficaron los diámetros y volúmenes acumulados contra las alturas, en donde se puede observar que la base de datos es apropiada para realizar los análisis correspondientes, ya que no se observan valores atípicos (Figura 3).

En la Tabla 2 se observa que se cubre un amplio rango de diámetros normales (D), alturas totales (H) y volumen total (Vt) presentes en el área de estudio.

Ajuste de los modelos de ahusamiento y volumen comercial

En la Tabla 3 se muestran los resultados del ajuste de los modelos de ahusamiento y volumen comercial. Se puede observar que para *P. oocarpa* el modelo que mejor se ajustó fue el de Cruz et al. (2008), con estadísticos muy similares al modelo de Fang et al. (2000); este modelo presenta mejor ajuste en la ecuación de ahusamiento. En este caso se decidió seleccionar el modelo de Cruz et al. (2008), porque es más simple en su estructura y es de mayor interés hacer predicciones más precisas en la variable volumen.

Tabla 2. Estadísticos de las variables usadas en el ajuste de los modelos

Variable	<i>Pinus oocarpa</i>				<i>Pinus douglasiana</i>			
	Máx.	Mín.	Promedio	N	Máx.	Mín.	Promedio	N
D (cm)	46.2	7.4	27.12	163	49.5	7.4	24.36	223
H (m)	23.94	5.34	15.96		25.49	5.83	16.41	
Vt (m ³)	1.6418	0.01635	0.5568		2.3059	0.01894	0.4654	

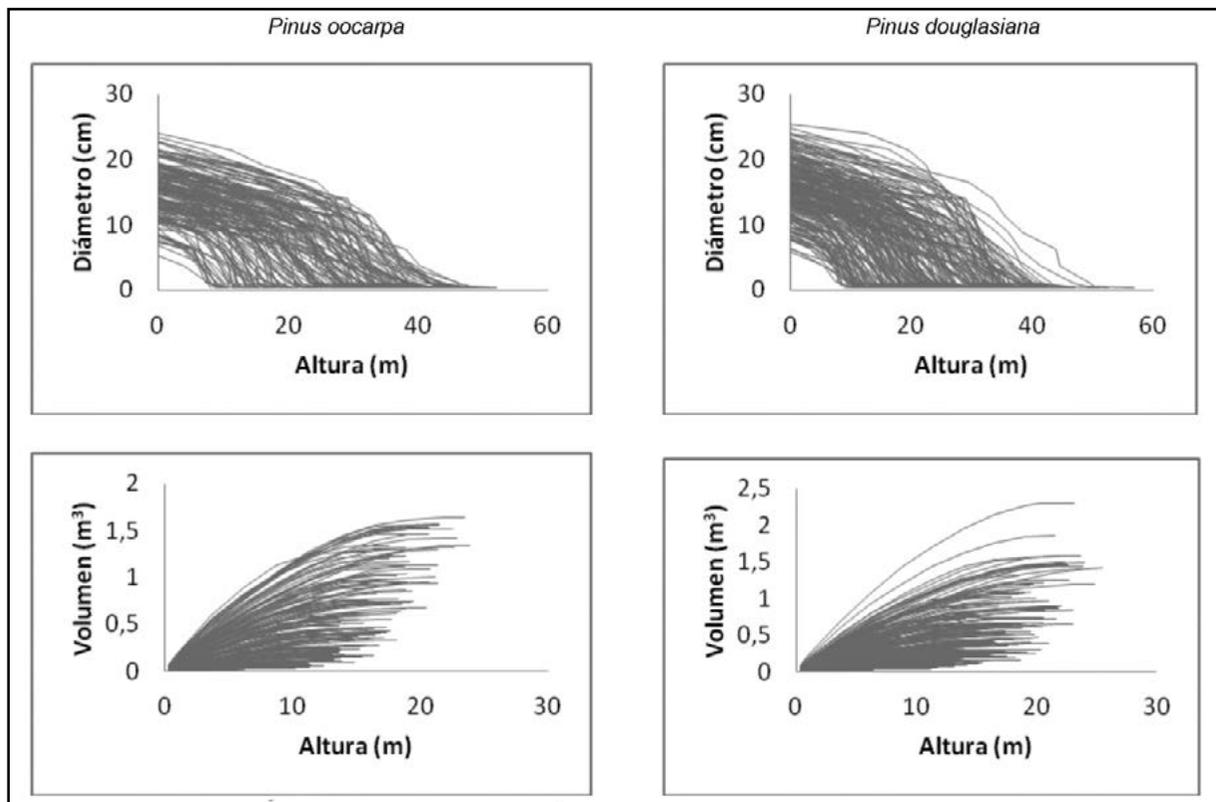


Figura 3. Diámetros sobre el fuste y el volumen acumulado vs. alturas sobre el fuste.

Tabla 3. Estadísticos de ajuste de los sistemas probados de ahusamiento y volumen comercial para *P. oocarpa*

Sistema de volumen compatible	Ecuación de volumen comercial		Ecuación de ahusamiento	
	RCME	R ²	RCME	R ²
Clutter (1980)	0.097	0.93	2.08	0.97
Cruz et al. (2008)	0.037	0.99	1.99	0.97
Demaerschalk (1972)	0.041	0.98	2.03	0.97
Fang et al. (2000)	0.040	0.98	1.86	0.97
Fang y Bailey (1999) caso I-a	0.067	0.97	1.95	0.97
Fang y Bailey (1999) caso II-a	0.065	0.97	1.96	0.97
Fang y Bailey (1999) caso II-b	0.060	0.97	1.93	0.97
Kozak et al. (1969)	0.041	0.98	2.05	0.97
Lenhart (1971)	0.106	0.92	2.14	0.97
Piennar y Reheney (1988)	0.108	0.91	2.22	0.95

Tabla 4. Estadísticos de ajuste de los sistemas probados de ahusamiento y volumen comercial para *P. douglasiana*

Sistema de volumen Compatible	Ecuación de volumen comercial		Ecuación de ahusamiento	
	REMC	R ²	RCME	R ²
Clutter (1980)	0.092	0.93	1.90	0.97
Cruz et al. (2008)	0.036	0.98	1.80	0.97
Demaerschalk (1972)	0.101	0.91	2.09	0.95
Fang et al. (2000)	0.038	0.98	1.62	0.97
Fang y Bailey (1999) caso I-a	0.062	0.96	1.78	0.97
Fang y Bailey (1999) caso II-a	0.061	0.97	1.78	0.97
Fang y Bailey (1999) caso II-b	0.060	0.97	1.80	0.97
Kozak et al. (1969)	0.036	0.98	1.82	0.97
Lenhart (1971)	0.101	0.91	1.99	0.96
Piennar y Reheney (1988)	0.101	0.91	2.09	0.95

En la Tabla 4 se muestran los resultados del ajuste de los modelos de ahusamiento y volumen, en el cual se observa que para *P. douglasiana* el sistema que mejor ajustó para las dos ecuaciones fue el de Cruz et al. (2008); en este caso el modelo de Kozak (1998) también presenta buenos resultados en la ecuación de volumen y no en la de ahusamiento.

En las tablas 5 y 6 se muestran los estimadores y errores estándar de los parámetros obtenidos mediante estimación simultánea, lo cual hace más eficientes los estimadores de los parámetros de ahusamiento y volumen comercial, minimizando los errores en forma conjunta; además de uniformizar los valores de los estimadores en ambas ecuaciones (Borders, 1989).

Aunque los estimadores obtenidos en el ajuste de regresión permanecen insesgados ante la presencia de heterocedasticidad, estos no son los más eficientes (Meyers, 1963; Gujarati, 1988; Kozak, 1998). Por ello, se hizo un análisis gráfico de los residuales del modelo compatible de Cruz et al. (2008), en donde se puede observar que en lo general no se muestra un aumento sistemático en los residuales a medida que aumentan los volúmenes estimados, por lo que se asume que no existen problemas de heterocedasticidad aunque se observan ligeros desajustes del modelo en los árboles de dimensiones mayores, esto debido a poca información en la base de datos para esas categorías (Figura 4).

Tabla 5. Estimadores y significancia de los parámetros obtenidos con el ajuste simultáneo de ahusamiento y volumen comercial para *P. oocarpa*

Sistema de ahusamiento volumen	α_0	α_1	α_2	β_0	β_1	β_2	β_3	p_1	p_2	δ
1)	-9.1948	1.7934	0.9598	0.4147	2.5044	2.3364				
2)					1.5727	0.7851	-0.1934			1.8183
3)					1.1286	1.1806				
4)	-9.5879	1.8867	0.9615		8.55E-06	0.000037	6.2772	0.0332	0.9996	
5)	-9.4602	1.8858	0.9177	0.000035						
6)	-9.3599	1.8651	0.9089	0.000042	1.9606					
7)	-9.2245	1.7276	1.0300	0.000063	1.6586	1.2258				
8)					-1.4523	0.3111				
9)	-9.8672	1.9717	0.9350	0.000032	3.6194					
10)	2.40E-05	1.8253	1.1118	-756E-06	3.7654					

Todos los parámetros fueron significativos al <.0001.

Tabla 6. Estimadores y significancia de los parámetros obtenidos con el ajuste simultáneo de ahusamiento y volumen comercial para *P. douglasiana*

Sistema de ahusamiento volumen	α_0	α_1	α_2	β_0	β_1	β_2	β_3	p_1	p_2	δ
1)	-9.714	1.9378	0.9407	0.4766	3.5171	3.4099				
2)					1.2124	0.2016	1.9232			1.9232
3)					1.1447	1.1521				
4)	-9.8036	1.9860	0.9209		0.000013	0.00004	0.000032	0.0541	0.6576	
5)	-9.6068	1.9604	0.8846	0.000036						
6)	-8.1826	1.5833	0.6737	7.44E-44	-32.4221					
7)	-9.5201	1.8889	0.9396	0.000043	1.8541	1.1106				
8)				-1.4327	0.2753					
9)	-9.9785	2.0222	0.9174	0.000032	3.6460					
10)	0.00002	2.0658	1.1305	0.000016	2.3513					

Todos los parámetros fueron significativos al <.0001.

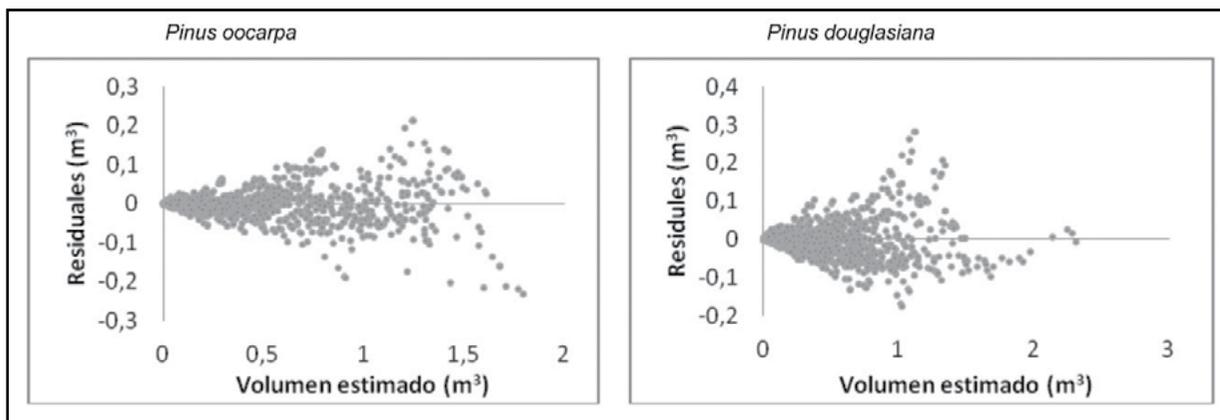


Figura 4. Residuales de volumen vs. volumen predicho del modelo compatible de Cruz et al. (2008).

DISCUSIÓN

Estos modelos fueron ajustados por Martínez y Fierros (2013) para *Pinus cooperi* y *Pinus engelmannii* en la región de San Dimas, Durango; por Quiñónez Barraza (2009) para las principales especies de *Pinus* en la región norte de Durango, y Hernández (2012) en *Pinus patula* en Zacualtipán, Hidalgo; se

encontraron ligeras mejorías en el ajuste con el sistema de Fang et al. (2000). También recomiendan como modelo promisorio por sus buenos ajustes y simplicidad el sistema de Cruz et al. (2008), lo que avala la flexibilidad del sistema de ahusamiento y volumen comercial seleccionado en este estudio.

CONCLUSIONES

El modelo compatible de ahusamiento y volumen comercial de Cruz et al. (2008) fue el que presentó mejores ajustes en ambas ecuaciones tanto para *P. oocarpa* como para *P. douglasiana*, este sistema tiene una estructura simple y por tanto, una fácil implementación, comparado con el sistema de Fang et al. (2000).

Los sistemas compatibles de ahusamiento y volumen comercial ajustados constituyen una herramienta importante en la planeación del manejo, ya que permiten que los técnicos responsables del manejo de los bosques de la región en estudio estimen de manera precisa la distribución de productos maderables.

LITERATURA CITADA

- BORDERS, B. E. Systems of equations in forest stand modelling. *For. Sci.*, 35(2): 548-556, 1989.
- CRUZ C. F. et al. Sistema compatible de ahusamiento-volumen para *Pinus cooperi* Blanco en Durango, México. *Agrociencia*, 42: 473-485, 2008.
- FANG, Z. et al. Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *For. Sci.*, 46(1): 1-12, 2000.
- GARCÍA, M. E. *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen; para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. México, D. F.: UNAM. Instituto de Geografía. 243 pp., 1973.
- GUJARATI, D. *Econometría básica*. México: McGraw-Hill Interamericana. 463 pp., 1988.
- HERNÁNDEZ, P. D. *Modelos de volumen comercial variable para Pinus patula en Zacualtipán, Hidalgo*. Tesis de Maestría en Ciencias. Texcoco, Edo. de México: Colegio de Posgraduados, Instituto de Enseñanzas e Investigación en Ciencias Agrícolas. 69 pp., 2012.
- KOZAK, A. Effects of upper stem measurements on the predictive ability of a variable-exponent taper equation. *Can. J. For. Res.*, 28: 1078-1083, 1998.
- LUJÁN, V. L. B. *Modelos de volumen comercial para Pinus durangensis de la región de San Dimas, Durango*. Tesis de licenciatura. Pueblo Nuevo, Durango: Instituto Tecnológico de El Salto. 42 pp., 2012.
- MARTÍNEZ, A. L. y FIERROS, M. R. *Modelos compatibles de ahusamiento y volumen para Pinus cooperi y Pinus engelmannii en la región de San Dimas, Durango*. Tesis de licenciatura. Durango, México: Instituto Tecnológico de El Salto. 41 pp., 2013.
- MAX, T. A. y BURKHART, H. E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. *For. Sci.*, 22: 283-289, 1976.
- MEYERS, C. A. Estimating volumes and diameters at breast height from stump diameters, Southwestern ponderosa pine. US Dept. Of Agriculture Forest Service Research Note RM, 9. 2 pp., 1963.
- PRODAN, M. et al. *Mensura Forestal*. San José, Costa Rica. IICA-GTZ0. 561 pp., 1997.
- QUIÑÓNEZ BARRAZA, G. *Estimación de relaciones alométricas para el manejo forestal del Ejido San Diego de Tezains, Durango, México*. Tesis de maestría. Pueblo Nuevo, Durango: Instituto Tecnológico de El Salto. 36 pp., 2009.
- SAS INSTITUTE INC. *SAS/ETS 9.1 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2004.
- TORRES, R. J. M. y MAGAÑA, T. O. S. *Evaluación de Plantaciones Forestales*. México: Limusa. 472 pp., 2001.

De páginas electrónicas

- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). *Cuéntame...de México*. Recuperado en enero de 2012, de <http://cuentame.inegi.org.mx>

El crecimiento de la PyME de Aguascalientes vía la propiedad intelectual

The growth of the SMEs of Aguascalientes track intellectual property

Sandra Yesenia Pinzón Castro¹, Gonzalo Maldonado Guzmán^{1*},
 María del Carmen Martínez Serna¹, Ricardo García Ramírez²

Pinzón Castro, S. Y., Maldonado Guzmán, G., Martínez Serna, M. C., García Ramírez, R.
 El crecimiento de la PyME de Aguascalientes vía la propiedad intelectual. *Investigación y
 Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 54-60, enero-abril 2015.

RESUMEN

El ambiente incierto en el que se desarrollan actualmente los negocios está obligando a las organizaciones, principalmente a las pequeñas y medianas empresas, a proteger legalmente sus patentes, marcas e imagen a través de la propiedad intelectual; lo cual puede favorecer su crecimiento y desarrollo. Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal analizar los efectos que ejerce la protección legal de la propiedad intelectual en el crecimiento de las pequeñas y medianas empresas manufactureras del estado de Aguascalientes. El análisis empírico se llevó a cabo para una muestra de 125 empresas manufactureras de 20 a 250 trabajadores. Los resultados obtenidos indican que tanto la propiedad intelectual como el tamaño de las organizaciones tienen un impacto positivo en el crecimiento, no así en la antigüedad de las empresas.

ABSTRACT

The uncertain environment in which businesses are actually developed is forcing the organizations, mainly the small and medium-sized enterprises, to

Palabras clave: propiedad intelectual, registro de patentes, registro de marcas, crecimiento, PyME.

Keywords: intellectual property, patents rights, trade marks, growth, SMEs.

Recibido: 7 de agosto de 2013, aceptado: 13 de junio de 2014

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

² Departamento de Finanzas, Centro de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

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

protect its patents, trademarks and image legally through intellectual property, that which can favor its growth and development. This paper has as main objective to analyze the effects of the intellectual property rights in the growth of the manufacturing small and medium-sized enterprises of the state of Aguascalientes. The empiric analysis was carried out for a sample of 125 manufacturing firms from 20 to 250 employees. The obtained results indicate that both the intellectual property rights as the size of the organizations, have a positive impact in the growth; not so in the antiquity of the companies.

INTRODUCCIÓN

La globalización del comercio de productos y servicios, así como el rápido crecimiento de algunas naciones —sobre todo de los países del sureste asiático— están generando un cambio esencial en la globalización de la economía al adoptar un nuevo modelo de crecimiento principalmente en las economías de los países emergentes o en vías de desarrollo, como es el caso de México, basado en el conocimiento (Pallab y Mukhopadhyay, 2010). Por tanto, de acuerdo a Morgan y Fai (2007), este modelo puede servir como base para la adquisición o desarrollo de ventajas competitivas por parte de las organizaciones, además de que se basa en la protección legal de la propiedad intelectual, lo que conlleva un incremento significativo en la generación de conocimiento y un desarrollo de la empresa (Baskaran y Boden, 2004, 2007).

En este sentido, la propiedad intelectual no está expuesta a riesgos de imitación o piratería solamente en el mercado regional o nacional, sino también en el mercado internacional, sobre todo en los países

subdesarrollados en los cuales la protección legal es deficiente (Park y Ginarte, 1997). Por tanto, se ha desarrollado una negociación en la mayoría de los países desde la década de los noventa para la estandarización, homogeneización y protección legal de la propiedad intelectual, de tal manera que se potencialice la innovación, inversión y crecimiento de las empresas (Butler, 1990).

De igual manera, existen diversos estudios teóricos y empíricos publicados en la actual literatura del campo de las ciencias empresariales que han aportado evidencia de la relación existente de la innovación y la tecnología con el crecimiento de las organizaciones (Johannessen et al., 1999; Xiang y Lan, 2001; Larsen y Lomi, 2002; Izushi, 2003; Sambamurthy et al., 2003; Tanabe y Watanabe, 2005), pero son escasos los trabajos de investigación empíricos que analizan los efectos que motivan a las empresas a realizar cambios en las actividades de innovación y/o en la tecnología, como es el caso de la protección legal de la propiedad intelectual, para lograr un mayor nivel de crecimiento (Park y Ginarte, 1997; Adams, 2011).

Por tal motivo, y según las recomendaciones de Parker y Giner (1997) y Adams (2011), la principal contribución de este trabajo de investigación es la aportación de evidencia empírica de la relación entre la propiedad intelectual y el crecimiento en las pequeñas y medianas empresas (PyME) manufactureras del estado de Aguascalientes.

Revisión de la literatura

En la actual era de la globalización y en un ambiente cambiante de negocios, la gestión del conocimiento y las actividades de innovación juegan un papel fundamental, tanto en el crecimiento de las organizaciones como en la actividad de la economía en general (Adams, 2011). Por ello, la protección legal de la propiedad intelectual es esencial en la mayoría de las economías de los países tanto desarrollados como en vías de desarrollo, además de que ha ganado cada vez más adeptos en la literatura de las ciencias económicas, fundamentalmente porque a través de ella es que se genera un cambio tecnológico que es vital para el crecimiento de las organizaciones y de la economía (Debasis y Gupta, 2006).

Generalmente en la literatura del campo de la economía y de la gestión empresarial se define a la propiedad intelectual como un conjunto de reglas

que permiten la protección legal de las patentes, derechos de autor, marcas comerciales y secretos industriales que crean y desarrollan los particulares u organizaciones, y que tienen comúnmente componentes estandarizados para que las empresas posean los derechos de uso, explotación y comercialización de las invenciones, tanto en el mercado nacional como en el internacional (Carsten y Maskus, 2005).

Adicionalmente, la protección legal de la propiedad intelectual generada al interior de las organizaciones también tiene efectos positivos significativos en el crecimiento empresarial, al estimular la creación de nuevo conocimiento y su diseminación tanto al interior de la organización por medio de los departamentos o áreas funcionales como al exterior a través de la estructura del mercado en el que participa la empresa (Adams, 2011). Sin embargo, diversos investigadores han cuestionado los efectos positivos de la propiedad intelectual en el crecimiento empresarial en el contexto de los países en vías de desarrollo, al argumentar que la protección de la propiedad intelectual es tan deficiente que no estimula la innovación (Commission on Intellectual Property Rights, 2002).

Por su parte, Leger (2005) llegó a la conclusión de que el bajo nivel de las capacidades y actividades de innovación en los países en vías de desarrollo limita significativamente el potencial que tiene la protección legal de la propiedad intelectual para estimular la adopción y desarrollo de las actividades de innovación en las organizaciones. Asimismo, Helpman (1993) no encontró ningún beneficio en el crecimiento de las empresas de los países en vías de desarrollo del sureste asiático analizadas que fuera derivado de la protección legal de la propiedad intelectual que tienen estas naciones.

Recientemente, varios estudios empíricos publicados han analizado el impacto que ejerce la propiedad intelectual en el crecimiento empresarial y de la economía (p.ej. Park y Ginarte, 1997; Horii e Iwaisako, 2007; Mokyr, 2009; McLennan y Le, 2011), desafortunadamente solo algunos de ellos se han orientado en los países en vías de desarrollo, por lo cual la evidencia empírica que se tiene de los efectos positivos significativos que ejerce la propiedad intelectual en el crecimiento empresarial de los países en vías de desarrollo es muy limitada (Adams, 2011), de ahí la importancia que tiene este trabajo de investigación.

Así, Park y Ginarte (1997) concluyeron en su estudio que la propiedad intelectual tiene efectos positivos significativos en el crecimiento de la economía de los países y, por ende, en las empresas del sector de la economía. Por su parte, Horii e Iwaisako (2007) consideraron que las actividades que realizan las empresas a favor de la protección de la propiedad intelectual maximiza el nivel de crecimiento. De igual manera, Mokyr (2009) llegó a la conclusión de que el sistema de patentes permitió un crecimiento empresarial en la economía británica, al proteger los inventos de cualquier imitación y generar un mayor número de inventores dedicados al desarrollo de nuevos productos.

Finalmente, McLennan y Le (2011) analizaron detalladamente la relación existente entre la propiedad intelectual y el crecimiento de la economía y las empresas en 71 países durante el período de 1996 a 2006 y llegaron a la conclusión de que en los países en los cuales han aumentado de manera notable las actividades de piratería las empresas lograron un menor nivel de crecimiento que aquellos países en los cuales había disminuido.

Por otro lado, la propiedad intelectual ha sido ampliamente reconocida en la literatura por una diversidad de investigadores, académicos y profesionales de las ciencias empresariales (p.ej. Smith y Mann, 2004; Crampes y Langinier, 2009; Qiu y Yu, 2010; Somaya et al., 2011), como una parte esencial de la inversión que realizan las empresas en investigación y desarrollo (R&D, *research and development*, en inglés), y que puede traducirse en un incremento en el nivel de las actividades de innovación y, por ende, en el crecimiento empresarial y de la economía (Romer, 2006), aunque se incrementa de manera importante el crecimiento empresarial si la protección legal de la propiedad intelectual se desarrolla a largo plazo (Grossman y Helpman, 1991).

En este sentido, la exclusividad de los derechos de la propiedad intelectual incentiva de manera importante la inversión en R&D; la cual contribuye, por una parte, a la promoción de la innovación y la tecnología y, por otra parte, a la transferencia y diseminación de la tecnología al interior de la organización, de tal manera que permita su crecimiento (Leger, 2006). Por tanto, el fortalecimiento de los derechos de la propiedad

intelectual permite a las empresas, sobre todo las pequeñas y medianas, utilizar más eficientemente los recursos disponibles en el país para incrementar el valor a los clientes y su crecimiento (Adams, 2011).

Por su parte, Kanwar (2006) llegó a la conclusión de que el fortalecimiento de los derechos de la propiedad intelectual también puede generar un incremento significativo en las actividades de innovación y, como consecuencia, en el crecimiento de las organizaciones. De manera similar, Taylor (1994) anteriormente ya había considerado que el fortalecimiento de los derechos de la propiedad intelectual puede afectar significativamente no únicamente a las actividades de innovación, sino también al crecimiento de la economía y de las empresas a través del flujo y transferencia de la tecnología entre las organizaciones.

En el contexto de los países en vías de desarrollo, diversos investigadores, académicos y profesionales del campo de las ciencias empresariales han llegado a la conclusión de que el fortalecimiento de los derechos de la propiedad intelectual puede ayudar a la estimulación de las invenciones y el desarrollo de nueva tecnología en las empresas (p.ej. Lloyd, 1995; Pallab y Mukhopadhyay, 2010; Päällysaho y Kuusista, 2011; Nisar, 2011), lo cual puede incrementar de manera significativa la producción industrial y la inversión interna, que son dos de los elementos más importantes del crecimiento de las empresas y de la economía (Adams, 2011).

En este sentido, cada nuevo producto que fabrican las empresas lleva adicionado un conjunto de conocimiento generado al interior de la organización y el costo de la innovación de dichos productos es fruto de la acumulación de nuevo conocimiento que han desarrollado los empleados y trabajadores, lo cual a su vez genera un ambiente propicio en los negocios para la acumulación de conocimiento que es protegido a través del derecho de la propiedad intelectual, el cual tiende a aumentar las actividades de innovación y el crecimiento tanto de la organización como de la economía (Gould y Gruben, 1996).

H1: A mayor nivel de protección de la propiedad intelectual, mayor nivel de crecimiento empresarial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para dar respuesta a la hipótesis planteada en este estudio se implementó una investigación empírica en las PyME manufactureras de Aguascalientes, tomando en cuenta el Directorio Empresarial 2009 del Sistema de Información Empresarial de México para el estado de Aguascalientes, con 1,362 empresas registradas hasta el 30 de julio de 2009. Asimismo, para efectos de este trabajo de investigación se consideraron solamente aquellas que tenían registrados al momento de la entrevista entre 20 y 250 trabajadores, con lo cual la población se redujo solamente a 130 empresas. Por tanto, si se considera que la población objeto de estudio se redujo de manera considerable se creyó pertinente encuestar a todas las empresas (censo) por medio de una entrevista personal, con un total de 125 encuestas y se obtuvo una tasa de respuesta del 96%. La Tabla 1 resume los aspectos más relevantes de la investigación efectuada:

Tabla 1. Diseño de la investigación

Características	Investigación
Población ¹	130 Pequeñas y Medianas Empresas
Área geográfica	Estado de Aguascalientes (México)
Muestra	PyME de 20 a 250 empleados
Método de recolección de la información	Entrevistas personales a los gerentes
Censo	Totalidad de las PyME
Tamaño del censo	125 PyME
Error del censo	+/- 1% error, nivel de confiabilidad del 99% ($p=q=0.5$)
Trabajo de campo	Septiembre a diciembre de 2010

De igual manera, para medir la propiedad intelectual se pidió a los gerentes de las PyME seleccionadas que contestaran si en la empresa se había realizado algún tipo de invenciones, registro de signos distintivos o inversión en la mejora de la imagen (1= Sí, 0= No), y para la medición de su grado de importancia se solicitó que evaluaran por medio de una escala tipo Likert de cinco puntos (desde 1= Poco importante a 5= Muy importante), las invenciones, registros de signos distintivos o inversión en la imagen.

Adicionalmente, se consideraron tres factores para medir a la propiedad intelectual adaptados de

WIPO (2003) y Jensen y Webster (2006): 1) *Patentes* medidas por medio de una escala de cuatro ítems; 2) *Registro de Marcas* medidas por medio de una escala de cuatro ítems e; 3) *Inversión en Imagen* medida por medio de una escala de nueve ítems. A partir de las respuestas obtenidas de cada uno de los ítems de estos tres factores se construyó la variable *propiedad intelectual* con la sumatoria de todas las preguntas. Este enfoque subjetivo de percepción del gerente resulta más apropiado en el caso de las PyME (Hughes, 2001; García et al., 2009).

Por otro lado, el crecimiento de las empresas fue medido por medio de las ventas realizadas por estas en el año 2010 (Autio y Lumme, 1998; Ballou et al., 2004; Salojärvi et al., 2005; Linder, 2006; Carneiro, 2007; Kruger y Johnson, 2009). Asimismo, para estimar el potencial de crecimiento que pueden tener las PyME generalmente se considera una evaluación cualitativa de los gerentes con las ventas como principal indicador para su medición (Autio & Lumme, 1998).

Además, se consideraron otras dos variables que diversos investigadores y académicos creen que son esenciales en la explicación del crecimiento de las organizaciones (García et al., 2009). La primera fue *tamaño*, esta variable se midió a través del número medio de empleados de las empresas del año 2010. La segunda variable fue *antigüedad*, medida a través del número de años transcurridos desde el inicio de actividad de las empresas hasta la fecha de aplicación de la encuesta.

Para comprobar la influencia de la propiedad intelectual en el nivel de crecimiento de las PyME manufactureras del estado de Aguascalientes se realizó una regresión lineal por MCO mediante el siguiente modelo general:

$$\text{Crecimiento}_i = b_0 + b_1 \cdot \text{Propiedad Intelectual} + b_2 \cdot \text{Tamaño} + b_3 \cdot \text{Edad} + \varepsilon_i$$

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la aplicación del análisis de regresión lineal se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Relación entre la propiedad intelectual y el nivel de crecimiento

Variabes	Crecimiento
<i>Propiedad Intelectual</i>	0.686***
	(10.595)
<i>Tamaño</i>	0.465***
	(5.703)
<i>Antigüedad</i>	0.053
	(0.278)
VIF más alto	1.056
Valor F	12.582***
R ² Ajustado	0.238

Debajo de cada coeficiente estandarizado, entre paréntesis, valor del estadístico t-Student.

*= $p \leq 0.1$; **= $p \leq 0.05$; ***= $p \leq 0.01$.

Los resultados obtenidos y que se presentan en la Tabla 2 indican que la propiedad intelectual tiene una influencia positiva significativa en el nivel de crecimiento de la PyME manufacturera de Aguascalientes ($\beta = 0.686$, $p < 0.01$), lo cual permite confirmar la hipótesis establecida en este estudio. Asimismo, el tamaño de la organización también tiene un impacto positivo significativo en el crecimiento de las PyME ($\beta = 0.465$, $p < 0.01$), lo cual indica que a mayor tamaño mayor posibilidad de crecimiento empresarial. Sin embargo, la antigüedad de la empresa ($\beta = 0.053$) no tiene un efecto positivo significativo en el nivel de crecimiento de las PyME, lo cual indica que la antigüedad no es una buena variable que permita medir el nivel de crecimiento de las empresas.

En lo que respecta a la validez del modelo de regresión lineal general éste se contrasta por medio de la R² ajustada, cuyo valor (0.238) es significativo, y a través de la F, cuyo valor (12.582***) también es significativo. Asimismo, las variables independientes del modelo de regresión tienen un factor de inflación de la varianza (VIF) cercano a la unidad (1.056), lo que permite descartar la presencia de multicolinealidad.

DISCUSIÓN

Actualmente, las actividades de innovación juegan un papel elemental en la mayoría de las organizaciones, principalmente en las pequeñas y medianas empresas, ya que el mercado altamente

globalizado y con elevado nivel de competitividad demanda productos cada vez con mayores niveles de innovación y adaptados a los gustos y necesidades de los clientes y consumidores. Por tanto, el ciclo de vida de los productos cada vez es menor y, en consecuencia, las empresas tienen que estar desarrollando nuevos productos de manera constante, con lo cual se hace necesaria la protección legal de la propiedad intelectual de los nuevos productos o invenciones que realizan los negocios.

En este sentido, la protección legal de la propiedad intelectual es una condición necesaria en el actual mercado que se caracteriza por un ambiente de negocios totalmente cambiante, no únicamente para las PyME, sino para cualquier organización. Por ello, las empresas tienen que realizar esfuerzos adicionales para dar certidumbre legal a las innovaciones que desarrollan, de tal manera que sean solamente las empresas que detentan los derechos legales las que estén en posibilidades de explotar comercialmente las innovaciones o mejoras realizadas a sus productos, y eviten la piratería.

Adicionalmente, si las PyME manufactureras del estado de Aguascalientes están dispuestas a incrementar significativamente su nivel de crecimiento; por un lado, tendrán que crear necesariamente las condiciones y un ambiente laboral que favorezca la adopción e implementación de las actividades de innovación y, por el otro lado, tendrán que realizar las inversiones necesarias para la protección legal de las invenciones realizadas a los productos, registrar con ello las patentes, las marcas comerciales y signos distintivos e invertir en la mejora de la imagen, tanto de los productos como de la propia organización, lo cual les permitiría tener una protección legal completa de su propiedad intelectual.

Finalmente, este estudio tiene una serie de limitaciones que es preciso considerar. La principal limitación es la referente a las variables utilizadas, ya que solamente se consideró una parte de la información de la propiedad intelectual y crecimiento empresarial, por lo cual en estudios futuros sería interesante utilizar otro tipo de variables. Otra limitación es que se utilizó una escala cualitativa para medir la propiedad intelectual y crecimiento, por ello en estudios futuros sería interesante la incorporación de variables cuantitativas para contrastar los resultados obtenidos. Una limitación

más es el tiempo considerado en la aplicación de la encuesta, por lo que en estudios futuros es recomendable ampliar el tiempo para lograr mejores resultados. Una última limitación es que la encuesta se aplicó solamente a los gerentes o propietarios de las PyME, con lo cual se asumió que estos tienen un buen conocimiento de las variables utilizadas, así que los resultados pueden no necesariamente reflejar la realidad de la organización.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación permiten concluir en dos aspectos fundamentales. En primer lugar, si las PyME manufactureras del estado de Aguascalientes quieren mantener o mejorar su nivel de crecimiento, es necesario que primero se orienten en la obtención de una protección legal de su propiedad intelectual, ya que ello les permitirá proteger sus innovaciones de cualquier intento de copia o piratería por parte de sus principales competidores, tanto en el mercado nacional como en el internacional, de tal manera que la organización tenga los derechos de su uso y explotación comercial.

En segundo lugar, para que las PyME manufactureras de Aguascalientes puedan mejorar o incrementar el registro de sus patentes, marcas e imagen de la empresas y sus productos (propiedad intelectual), es necesario que la gerencia genere un ambiente favorable para que sus empleados y trabajadores pongan en práctica sus habilidades y destrezas en el desarrollo de nuevos productos o, en

su caso, en las adecuaciones que estos requieren producto de los gustos y necesidades de los clientes y consumidores finales, de tal manera que cada vez sean más cercanos a los deseos de los clientes.

Adicionalmente, estos resultados tienen diversas implicaciones en las PyME de Aguascalientes. Por un lado, los gerentes deberán reunir la información pertinente para registrar los derechos de propiedad intelectual de los productos y/o servicios que genere la organización, ya que ello les permitirá explorar de manera exclusiva su comercialización. Asimismo, los gerentes deberán buscar una capacitación en derecho de la propiedad intelectual para que conozcan la normatividad y las distintas formas de protección de la propiedad intelectual existentes en el ámbito nacional e internacional.

Por otro lado, es importante destacar que estos resultados también implican que la administración pública de los tres niveles tiene que generar políticas y programas de apoyo a las PyME en materia de derecho de la propiedad intelectual, para convertir esta práctica en una actividad rutinaria. Además, los centros de investigación y las instituciones de educación superior públicas y privadas asentadas en la entidad deberán buscar una mayor vinculación con el sector empresarial al diseñar y ofrecer una capacitación adecuada en materia de derecho de la propiedad intelectual a los empresarios, de tal manera que se genere una cultura empresarial de proteger las innovaciones que desarrollan las organizaciones.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, S. Intellectual property rights, innovation, and economic growth in Sub-Saharan Africa. *Journal of Third World Studies*, 28(1): 231-243, 2011.
- AUTTIO, E. y LUMME, A. Does the innovator role affect the perceived potential for growth? Analysis of four types of new, technology-based firms. *Technology Analysis & Strategic Management*, 10(1): 41-54, 1998.
- BALLOW, J. J. et al. *New Concepts in Value-Based Management: TRS Mapping and Total Economic Profit*. Wellesley, MA, US: Accenture Institute for High Performance Business, 2004.
- BASKARAN, A. y BODEN, R. Science: A controversial commodity. *Science, Technology and Society*, 9: 1-26, 2004.
- BASKARAN, A. y BODEN, R. Prometheus bound: Accounting and the creation of the new science paradigm. *International Studies of Management and Organization*, 37(1): 9-26, 2007.
- BUTLER, A. The trade-related aspects of intellectual property rights: What is at stake? *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, November/December: 34-46, 1990.
- CARNEIRO, A. What is required for growth? *Business Strategy Series*, 8(1): 51-57, 2007.
- CARSTEN, F. y MASKUS, K. *Intellectual property and development: Lessons from economic research*. Washington, DC, US: The World Bank, 2005.
- COMMISSION ON INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS. *Integrating intellectual property rights and development policy*. London: CIPR, 2002.
- CRAMPES, C. y LANGINIER, C. Are intellectual property rights detrimental to innovation? *International Journal of the Economics of Business*, 16(3): 249-268, 2009.

- DEBASIS, M. y GUPTA, R. Innovation, imitation and intellectual property rights: A note on Helpman's model. *Journal of Economics*, 87(1): 29-53, 2006.
- GARCÍA, P. L. D. et al. *Innovación y Cultura Empresarial de las MiPyMEs de Aguascalientes*. México: Editorial UAA, 2009.
- GOULD, D. M. y GRUBEN, W. C. The role of intellectual property rights in economic growth. *Journal of Development Economics*, 48: 323-350, 1996.
- GROSSMAN, G. y HELPMAN, E. *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1991.
- HELPMAN, E. Innovation, imitation, and intellectual property rights. *Econometrica*, 61(6): 1247-1280, 1993.
- HORII, R. e IWAISAKO, T. Economic growth with imperfect protection of intellectual property rights. *Journal of Economics*, 90(1): 45-85, 2007.
- HUGHES, A. Innovation and business performance: Small entrepreneurial firms in the UK and the US. *New Economy*, 8(3): 157-163, 2001.
- IZUSHI, H. Impact of the length of relationships upon the use of research institutes by SMEs. *Research Policy*, 32(3): 771-788, 2003.
- JENSEN, P. H. y WEBSTER, E. Firm size and the use of the intellectual property rights. *Economic Record*, 82(256): 44-55, 2006.
- JOHANNESSEN, J. A. et al. Strategic use of information technology for increased innovation and performance. *Information Management and Computer Security*, 7(1): 5-22, 1999.
- KANWAR, S. *Innovation and intellectual property rights*. Center for Development Economics, Working Paper 142. India: Delhi School of Economics, 2006.
- KRUGER, C. J. y JOHNSON, R. D. Assessment of knowledge management growth: a South Africa perspective. *Aslib Proceedings: New Information Perspectives*, 61(6): 542-564, 2009.
- LARSEN, E. y LOMI, A. Representing change: A system model of organizational inertia and capabilities as dynamic accumulation processes. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 10: 271-296, 2002.
- LEGER, A. Intellectual property rights in Mexico: Do they play a role? *World Development*, 33(11): 1865-1879, 2005.
- LEGER, A. Intellectual property rights and innovation in developing countries: Evidence from panel data. *Proceedings of the German Development Economics Conference*, Berlin. 2006.
- LINDER, J. C. Does innovation drive profitable growth? New metrics for a complete picture. *Journal of Business Strategy*, 27(5): 38-44, 2006.
- LLOYD, W. F. Intellectual property rights & associated challenges for small business. *Journal of Business and Entrepreneurship*, 7(2): 93-102, 1995.
- McLENNAN, P. G. y LE, Q. V. The effects of intellectual property rights violation on economic growth. *Modern Economy*, 12: 107-113, 2011.
- MOKYR, J. Intellectual property rights, the industrial revolution and the beginning of modern economy growth. *American Economic Review: Papers & Proceedings*, 99(2): 349-355, 2009.
- MORGAN, E. J. y FAI, F. M. Innovation, competition and change in international business: Emergent research trajectories. *Management International Review*, 47(5): 631-638, 2007.
- NISAR, T. M. Intellectual property securitization and growth capital in retail franchising. *Journal of Retailing*, 87(3): 393-405, 2011.
- PÄÄLLYSAHO, S. y KUUSISTA, J. Informal ways to protect intellectual property (IP) in KIBS business. *Innovation: Management, Policy & Practice*, 36: 62-76, 2011.
- PALLAB, P. y MUKHOPADHYAY, K. Growth via intellectual property rights versus gendered inequity in emerging economies: An ethical dilemma for international business. *Journal of Business Ethics*, 91(3): 359-378, 2010.
- PARK, W. G. y GINARTE, J. C. Intellectual property rights and economic growth. *Contemporary Economic Policy*, 15(3): 51-61, 1997.
- QIU, L. D. y YU, H. Does the protection of foreign intellectual property rights stimulate innovation in the US? *Review of International Economics*, 18(5): 882-895, 2010.
- ROMER, P. Endogenous growth and technical change. *Journal of Political Economy*, 99: 807-827, 2006.
- SALOJÄRVI, S. et al. Knowledge management and growth in Finnish SMEs. *Journal of Knowledge Management*, 9(2): 103-122, 2005.
- SAMBAMURTHY, V. et al. Shaping agility through digital options: Reconceptualising the role of information technology in contemporary firms. *MIS Quarterly*, 27(2): 237-263, 2003.
- SMITH, B. L. y MANN, S. O. Innovation and intellectual property protection in the software industry: An emerging role of patents. *The University of Chicago Law Review*, 71(1): 241-264, 2004.
- SOMAYA, D. et al. Innovation in multi-invention contexts: Mapping solutions to technological and intellectual property complexity. *California Management Review*, 53(4): 47-79, 2011.
- TANABE, K. y WATANBE, C. Sources of small and medium enterprises excellent business performance in a service orientated economy. *Journal of Service Research*, 5(1): 5-20, 2005.
- TAYLOR, S. Trips, trade and growth. *International Economic Review*, 35(2): 361-381, 1994.
- WIPO (WORLD INTERNATIONAL PROPERTY ORGANIZATION). *WIPO survey of intellectual property services of European technology incubators*. Geneva, Italy: Mimeo, 2003.
- XIANG, D. C. y LAN, S. F. IT adoption in manufacturing industries: Differences by company size and industrial sectors: The case of Chinese mechanical industries. *Technovation*, 21(11): 649-660, 2001.

Ingeniería de tejidos. Una nueva disciplina en medicina regenerativa

Tissue engineering. A new discipline in regenerative medicine

Deyanira Serrato Ochoa^{1*}, Renato Nieto Aguilar¹,
Asdrúbal Aguilera Méndez²

Serrato Ochoa, D., Nieto Aguilar, R., Aguilera Méndez, A. Ingeniería de tejidos. Una nueva disciplina en medicina regenerativa. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 61-69, enero-abril 2015.

RESUMEN

Actualmente científicos de todo el mundo centran sus esfuerzos en desarrollar alternativas de reemplazo de tejidos enfermos, que no cumplen satisfactoriamente las funciones orgánicas normales. En este contexto, las técnicas de ingeniería tisular permiten la generación de tejidos ex vivo, con la propiedad de ser incorporados al organismo y reemplazar el tejido dañado o enfermo para incrementar, disminuir o modificar sus funciones mediante injertos autólogos. Estas técnicas permiten actualmente sustituir órganos humanos afectados, a partir de tejidos artificiales que la ingeniería tisular admite generar en el laboratorio. Esto sustituye a los aloinjertos, que a su vez pueden ocasionar rechazo, transmisión de enfermedades e involución del material injertado. Debido a la importancia que desempeñan las células troncales utilizadas para la generación de los tejidos en laboratorio, este trabajo abordará mediante revisión de la literatura los aspectos generales de las células troncales, células progenitoras o mesenquimales, biomateriales y factores de crecimiento.

Palabras clave: tejidos artificiales, ingeniería tisular, medicina regenerativa, células troncales.

Keywords: engineered tissues, tissue engineering, regenerative medicine, stem cells.

Recibido: 16 de septiembre de 2013, aceptado: 13 de junio de 2014

¹ Facultad de Odontología, Centro Universitario de Estudios de Posgrado e Investigación, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

² Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

* Autor para correspondencia: gelato.serrato@yahoo.com.mx

ABSTRACT

Currently scientists around the world are focusing their efforts to find alternatives to replace diseased tissues that do not meet normal organ function satisfactorily. In this context, tissue engineering techniques allow the generation of tissues ex vivo, with the opportunity of being incorporated into the organism and replace damaged or diseased tissue to increase, decrease or change their functions with autologous grafts. These techniques allow replacing human organs currently affected by using engineered grafts generated in the laboratory. This replaces allografts, which in turn can cause rejection, disease transmission and involution of the grafted tissue. Due to the importance of performing the stem cells used for the generation of tissues in the laboratory, this work will address through review of the literature the general aspects of the stem cells or mesenchymal stem cells, biomaterials and growth factors.

INTRODUCCIÓN

En numerosas ocasiones, distintas enfermedades de origen infeccioso, genético, degenerativo, agresiones físicas o químicas, pueden dar lugar a una pérdida o alteración de las células de un tejido u órgano. Esta pérdida o daño celular puede llevar a una alteración de la función normal del órgano y, por consiguiente, conducir al desarrollo de enfermedades o secuelas físicas que merman la calidad de vida de una persona. Por este motivo, uno de los principales retos de la medicina actual involucra la regeneración *ad integrum* y el restablecimiento de la función normal de los tejidos u órganos. Estos dos objetivos, *regeneración* y *restablecimiento* de la función normal de un tejido u órgano dañado, son los fines principales de la

medicina regenerativa (Rosa, 2013; Morrison, 2014). Para lograr estos fines se pueden utilizar tres técnicas: la *terapia celular*, la *regeneración tisular guiada* y la *ingeniería tisular*, que serán descritas a continuación:

Terapia celular. En un sentido amplio incluye cualquier tipo de tratamiento que utilice células como agente terapéutico. Contempla como procedimientos básicos en sentido amplio la implantación de células o de material celular en el tejido dañado para lograr la reparación del mismo. En este contexto, el material celular puede ser generado mediante cultivo ex vivo, que puede proceder del propio paciente (a partir de células autogénicas) o en última instancia, de un donante de la misma especie (a partir de células alogénicas) o de distinta (a partir de células xenogénicas) (Schlee et al., 2014; Smart et al., 2014; Zhang et al., 2014). Ejemplos exitosos de este procedimiento son: las transfusiones sanguíneas y el trasplante de médula ósea.

Regeneración tisular guiada. En ocasiones se puede regenerar el tejido in situ mediante la estimulación del crecimiento de las células del propio tejido dañado mediante fármacos, biomateriales, factores de crecimiento o terapia génica (Barbú et al., 2012).

Ingeniería tisular. Es una nueva área de la medicina regenerativa cuyo objetivo es la construcción de tejidos in vitro de tipo autólogo para su utilización terapéutica que permita restaurar, sustituir o incrementar las actividades funcionales de los propios tejidos orgánicos (Rosa, 2013). La construcción de órganos y tejidos artificiales por ingeniería tisular es uno de los campos de investigación que ha experimentado mayor progreso durante los últimos años. Su aplicación en el campo de la medicina abre nuevas alternativas de tratamiento para pacientes con diferentes tipos de patologías, lesiones tisulares u orgánicas. Básicamente, la ingeniería tisular consiste en cultivar células en una matriz tridimensional enriquecidas con factores de crecimiento, en donde estas células pueden crecer y así posteriormente el tejido artificial desarrollado se trasplanta a un órgano receptor (Shapira et al., 2014). En principio las células utilizadas derivan del tejido involucrado y persona. Sin embargo y debido a que en ocasiones no es posible debido al daño tisular existente, se han buscado fuentes alternativas para la obtención de las células en el mismo paciente pero de tejidos diferentes, que pueden diferenciarse a varios tipos celulares. Respecto al primer punto, la utilización de células o tejidos autólogos en ingeniería tisular, implica numerosas ventajas asociadas, entre otras:

- Reducción significativa del número de infecciones transmitidas desde un donante hacia un receptor por agentes infecciosos como el citomegalovirus, virus de Epstein-Barr, virus de la hepatitis C, virus de la hepatitis B o virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) (McDevitt, 2006; Bingler et al., 2008; Singer et al., 2008; Subramanian, 2011), etc.
- Ausencia de rechazo inmune frente al tejido implantado en aquellos casos en los que el tejido artificial sea de origen autólogo (Atoui, 2013), por lo que el paciente no tendrá necesidad de tomar tratamiento inmunosupresor. De esta manera se evitan los efectos secundarios de drogas utilizadas en diversos padecimientos como neutropenia, anemia, neuropatías tóxicas, diabetes secundaria; además de los problemas añadidos que cursan pacientes inmunodeprimidos, como las infecciones secundarias a la neutropenia (Teraoka et al., 2005; Kamoun, 2006; Olkinuora et al., 2013).
- Reducción de la morbilidad y mortalidad de los donantes de órganos (Yeh y Olthoff, 2008; Fuji et al., 2014).

El segundo punto, referente a la búsqueda y empleo de fuentes alternativas celulares autólogas, será comentado ampliamente más adelante en el apartado que explica la ingeniería tisular y sus componentes.

Ingeniería de tejidos y componentes

Como se mencionó antes, los componentes de la ingeniería tisular comprenden: a) las células, b) los biomateriales y c) los factores de crecimiento; cada uno de estos componentes presentan a su vez características particulares para su utilización. Con referencia a las células, deben presentar capacidad de proliferación y crecimiento en cultivo, especialmente las células madre, troncales o estaminales. Estas células constituyen una parte fundamental para la generación ex vivo de los tejidos, que reemplazarán a los enfermos o lesionados; esto debido a sus procesos inherentes de división, migración y diferenciación celular, que conducen de forma final a la definición estructural y funcional propia de los tejidos (Baino y Vitale Brovarone, 2011; Casagrande et al., 2011).

En relación con los biomateriales, deberán ser susceptibles a ser utilizados como andamios o subestructuras que permitan la integración de un tejido tridimensional similar a la estructura anatómica

propia del tejido que requiere regenerarse, "siendo capaces de alojar y permitir el crecimiento, la reproducción y la renovación de las células incluidas en su seno y a la vez ser susceptibles de ser eliminados por el metabolismo propio del tejido que lo albergó". Por último, los factores de crecimiento deben inducir el desarrollo y la diferenciación celular dentro del tejido artificial, como lo hace de forma natural la matriz extracelular en los tejidos nativos, mediante señalizaciones intracelulares que inhiben o inducen funciones celulares específicas (Morrison, 2014). Debido a la amplia información referente a los componentes de la ingeniería tisular anteriormente dichos, a continuación se profundiza en cada uno de ellos comenzando con el componente celular.

CÉLULAS MADRE O TRONCALES

Una célula madre o troncal es aquella que tiene la capacidad para llevar a cabo divisiones asimétricas. Estas células tienen potencial para autorenovarse y diferenciarse a distintos tipos de células más especializadas no sólo morfológicamente, sino también a nivel funcional (Zhao y Prather, 2011). Las células madre se pueden clasificar en relación con su potencialidad y origen:

La *potencialidad* representa la capacidad y posibilidades de diferenciación a distintos tipos celulares (Chopra et al., 2013). Se manifiesta en el ámbito natural de acuerdo con el orden jerárquico de su desarrollo; es decir, en atención al grado de maduración celular o grado de diferenciación celular. Así, de acuerdo con su potencial de diferenciación las células madre o troncales se han clasificado en totipotenciales, pluripotenciales, multipotenciales y unipotenciales.

Las *células madre totipotenciales* son aquellas capaces de crecer y formar un organismo completo. Puntualizando, pueden generar tanto tejido embrionario (incluyendo las tres capas germinales: ectodermo, mesodermo y endodermo) como tejido extraembrionario (placenta y anexos placentarios). En sentido estricto cigoto, blastómeros y células de la mórula constituirían a las células madre totipotenciales (Chopra et al., 2013).

Las *células madre pluripotenciales* son aquellas que tienen la capacidad de diferenciarse a cualesquiera de los tejidos existentes en un organismo adulto; por tanto, a tejidos procedentes de cualquier capa embrionaria (ectodermo, mesodermo y endodermo), incluso las células germinales. Sin

embargo, no son capaces de generar un nuevo organismo. Las células pluripotenciales son las que integran la masa celular interna del blastocisto (Lee et al., 2014).

Las *células madre multipotenciales* son capaces de diferenciarse a distintos tipos celulares, pero siempre restringiendo su potencialidad a tejidos derivados de una misma capa embrionaria; es decir, tejidos derivados del ectodermo, mesodermo o endodermo. Estas células, una vez desarrolladas, se autorrenuevan durante toda la vida del individuo, a diferencia de las células troncales totipotenciales y pluripotenciales, que solo se encuentran en la etapa embrionaria. Las células troncales multipotenciales pueden dividirse repetidamente para repoblar un tejido, como las células troncales hematopoyéticas multipotenciales de la médula ósea, que dan origen a todas las células del sistema hematopoyético (Farini et al., 2014; Wuchter et al., 2014). Cabe señalar que Chopra y colaboradores agrupan a su vez dos conjuntos de células multipotentes: el primero incluye a células adultas multipotentes antes descritas, mientras que el segundo incluye a células fetales multipotentes. Estas últimas son específicas del tejido donde se encuentran localizadas y algunas veces generan un solo tipo celular unipotente (Chopra et al., 2013).

Las *células madre unipotenciales* son células troncales que tienen la capacidad para formar un único linaje celular. Por ejemplo, células epiteliales de la capa basal de la epidermis (Senoo, 2013).

Una vez expuesta la potencialidad de las células troncales, es preciso mencionar que existen dos corrientes manejadas por la comunidad científica que refieren la existencia de células maduras y troncales no embrionarias, que tienen capacidad de diferenciarse prácticamente a cualquier tipo celular de los tejidos existentes en el adulto y que no integran la masa celular interna del blastocisto. Estas células somáticas y pluripotentes pueden diferenciarse a linajes distintos al propio, sin prestar atención a su estirpe o jerarquía mediante el proceso de transdiferenciación o conversión destino (Ladewig et al., 2013), por lo que conciben *fuentes alternativas de obtención celular* (Figura 1).

En este contexto, la primera corriente define que una célula adulta madura tiene la capacidad de diferenciarse a una célula de otro linaje mediante reprogramación sin tener que revertir a célula troncal

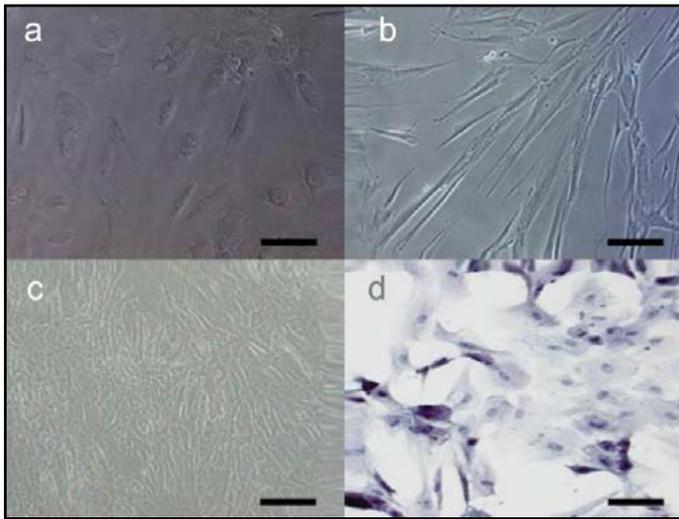


Figura 1. Microfotografías de células humanas utilizadas como fuentes de obtención alternativa en ingeniería tisular. Magnitud 20X. (a) Células madre derivadas de tejido adiposo en cultivo ex vivo. (b) Células troncales derivadas de tejido pulpar en cultivo ex vivo. (c) Células troncales derivadas de médula ósea cultivadas ex vivo. (d) Células troncales de la gelatina de Wharton cultivadas ex vivo y teñidas con hematoxilina. Escala de barra 100 μ . Microfotografías obtenidas en el laboratorio de cultivos por el grupo de investigación.

o progenitora. Este tipo de células se conocen como *células con pluripotencialidad inducida (iPSCs)*, por sus siglas en inglés) (Gámez, Escalona y López Moratalla, 2014). La segunda corriente consiste en que una célula troncal correspondiente a un linaje determinado puede originar una célula especializada, pero diferente al linaje de la célula progenitora. A ambos procesos se les ha denominado *transdiferenciación celular* (Figura 2).

Ahora bien, en relación con la primera corriente, su proceso puede deberse principalmente a tres mecanismos: 1) a una *mutación* en la secuencia de nucleótidos del ADN, 2) a *alteraciones epigenéticas*; es decir, cambios que ocurren a nivel del genoma que no se deben a modificaciones en la secuencia de nucleótidos, sino a modificaciones en el patrón de expresión génica por procesos de metilación o acetilación del ADN entre otros, o 3) a otros *factores ambientales* que intervienen en los cambios que se producen en la expresión génica (Thowfeequ et al., 2007; Corbette y Tosh, 2014). Por último, en relación con la segunda corriente, su proceso se debe al empleo de factores de crecimiento en cultivos celulares conformados por células troncales pluripotenciales que conciben la transdiferenciación a nivel fenotípico, al seguir un patrón jerárquico de la activación

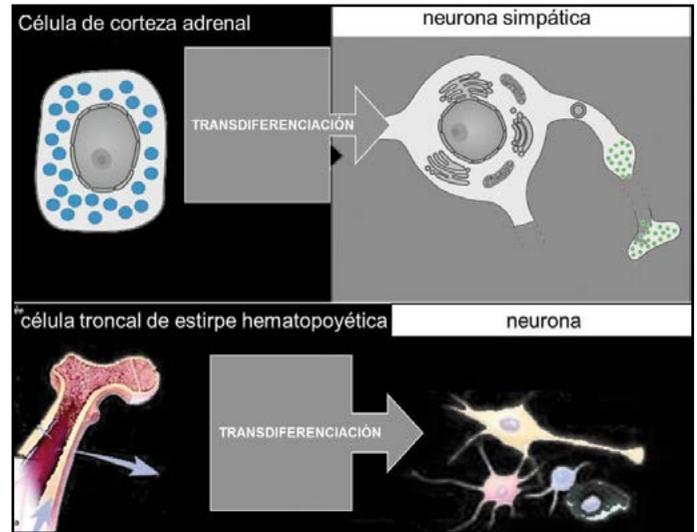


Figura 2. Imagen ilustrativa del proceso de transdiferenciación celular. En la parte superior se indica que una célula especializada (una célula de la corteza suprarrenal) es reprogramada sin tener que revertir a célula progenitora para convertirse en otra célula especializada (en una neurona simpática). En este ejemplo la transdiferenciación celular involucra a dos células pertenecientes a dos linajes y capas embrionarias diferentes (del mesodermo hacia el ectodermo). Abajo, se ilustra que una célula troncal derivada de la médula ósea (del mesodermo) se diferencia a una célula especializada del ectodermo (a una célula neuronal). Así, una célula de estirpe hematopoyética que origina células hematopoyéticas se transdiferencia para transformarse en una célula de estirpe neuronal. Imagen creada por el grupo de investigación.

de genes mediante una inducción temprana génica (Alaminos et al., 2010). En este sentido, la aplicación de técnicas de ingeniería tisular sobre células troncales susceptibles a la transdiferenciación ha incrementado el conocimiento relativo al desarrollo de órganos ex vivo con la generación de tejidos de mayor complejidad y con características que denotan madurez funcional (Li et al., 2014). La segunda clasificación de las células troncales en relación con su origen incluye a las *células madre embrionarias* y a las *células madre adultas*.

Las células madre embrionarias existen únicamente durante el periodo embrionario. Se pueden obtener a partir de la masa celular interna del blastocisto en el estadio de embrión preimplantado (Torres Padilla y Chambers, 2014) o de la cresta gonadal (He et al., 2007). Las primeras son pluripotenciales; es decir, son capaces de diferenciarse a cualquier tejido del organismo, incluyendo cartílago, hueso, neuronas, etc. (Nieto Aguilar et al., 2011); y las segundas a células germinales (ovocitos y espermatozoides) (Dressel et al., 2009; Yuan y Yamashita, 2010).

Las células madre adultas existen en el adulto, el feto y el cordón umbilical. Tienen capacidad proliferativa y un potencial de diferenciación menores que las células troncales embrionarias. Son células multipotenciales o unipotenciales y se han podido identificar en casi todos los tejidos del organismo (Raff, 2003; NIH, 2012). Las células troncales adultas incluyen un tipo celular denominado células troncales mesenquimales, también llamadas células progenitoras mesenquimales. Estas células se encuentran repartidas en el tejido conectivo de diversos órganos, como por ejemplo en la médula ósea (Farini et al., 2014), la sangre periférica (Niu et al., 2014), el tejido adiposo (Nieto Aguilar et al., 2011), el tejido sinovial (Sekiya et al., 2011), en los dientes (Hilkens et al., 2013), en el músculo esquelético (Zheng et al., 2012) y en algunos tejidos del feto (Patel et al., 2013; Ribeiro et al., 2013).

Una vez expuestas las células como primer componente de la *ingeniería tisular* y retomando la secuencia de exposición de dichos componentes, a continuación se describe el segundo de estos: los biomateriales.

BIOMATERIALES

En la ingeniería tisular, la generación de tejidos artificiales de naturaleza mesenquimal como el hueso, el cartílago, la dermis o la lámina propia de la mucosa oral requiere algún tipo de material que actúe como sustituto de la matriz extracelular del tejido nativo (Lu et al., 2013). Para ello se utilizan varios tipos de biomateriales. Así, el término biomaterial designa a aquellos materiales utilizados en la fabricación de sistemas biológicos y que se aplican en diversas áreas de la medicina (Singh et al., 2008; Bairo y Vitale Brovarone, 2011). La función de estos en ingeniería tisular es la de actuar de manera similar a la matriz extracelular nativa. Es decir, procurar la promoción de la proliferación, la diferenciación y la sobrevivencia de las células (Meng et al.,

2014). Además, estos compuestos deben cumplir ciertos requisitos básicos, entre ellos: ausencia de toxicidad al degradarse, biocompatibilidad adecuada, ausencia de potencial carcinogénico, ausencia de reacción inflamatoria y tolerancia a la esterilización previa a su uso (Romagnoli et al., 2013; Yildirimer y Seifalan, 2014). También deben contar con propiedades mecánicas como permeabilidad, estabilidad, elasticidad, viscoelasticidad, flexibilidad, resistencia al desgarre y plasticidad (Meng et al., 2014; Musumeci et al., 2014); para así generar diferentes formas o estructuras tridimensionales sólidas (Hutmacher et al., 2001; Yang et al., 2001). También deben permitir la adhesión celular y la activación de los diferentes factores de crecimiento (Walgenbach et al., 2001; Kwan et al., 2007; Mateos Timoneda et al., 2014). Por último, deberán de servir de vehículo para transportar las células desde la fuente de obtención o producción hasta el sitio en donde se realizará el procedimiento para la recuperación del tejido afectado (Dashtdar et al., 2013; Bhuyan et al., 2014). En medicina los más utilizados son los biomateriales sintéticos y los biomateriales biológicos. Los *biomateriales sintéticos* son los que se producen en laboratorio mediante procesos industriales; entre estos destacan los polímeros, los metales, los de origen cerámico y los *nanocomposites*. Los *biomateriales biológicos* o *naturales* son aquellos que se obtienen a partir de productos encontrados en la naturaleza; sean de origen mineral, vegetal o animal como el colágeno, la fibrina, la agarosa, el quitosán, el alginato, etc. (Meng et al., 2014). El uso para cada tipo depende del tejido que se va a generar en el laboratorio (Musumeci et al., 2014) (Tabla 1).

Por otro lado, no solo la composición del biomaterial ha sido motivo de estudio. El diseño de las superficies de los diferentes biomateriales reportado al momento actual involucra a la nanobiomecánica como parte fundamental para el diseño y producción de subestructuras más complejas. De esta manera

Tabla 1. Ejemplos principales de materiales sintéticos y naturales utilizados en ingeniería tisular para cartílago. Los andamios para generar cartílago artificial involucran hidrogeles preparados a partir de polietilenglicol diacrilato (PEGDA), polimetil-metacrilato (PMMA), ácido poliglicólico (PGA), L-ácido láctico-co-ácido glicólico (PLGA), a partir de fibrina, agarosa y péptidos sintéticos. Los porosos y esponjosos a partir del colágeno, del poliuretano; incluyendo además materiales con conformación porosa de origen como el coral, el propio cartílago articular descelularizado y el hialuronano

NATURALES	Seda, colágeno, gelatina, fibrinógeno, ácido hialurónico, alginato	Biodegradables, de fácil obtención, bioactivos, interactúan con las células
SINTÉTICOS	PEG, PGA, PMMA, PLGA	Facilitan la regeneración de tejidos dañados, inertes, vida media larga, porosidad y degradación predecibles, reproducibles

se generan patrones geométricos de superficie, que pudieran promover mediante la adhesión celular y la adhesión de los factores de crecimiento a dicho patrón de diseño funciones mecánicas específicas en cada tipo celular (Chen, 2014). Por último, serán expuestos los conceptos referentes a los factores de crecimiento al día de hoy, como el tercer componente básico de la ingeniería tisular:

FACTORES DE CRECIMIENTO

Una amplia variedad de proteínas y nucleótidos juegan un papel importante en la proliferación y diferenciación de las células. Estos elementos son secretados de forma endógena por las células o bien, son el resultado de señales paracrinas con células vecinas. Estas proteínas son los *factores de crecimiento*. A este respecto, la adición adecuada de factores de crecimiento a células y matrices extracelulares artificiales aumenta los niveles de éxito de los tejidos generados mediante ingeniería tisular en comparación con los que no reciben dicha adición (Romagnoli et al., 2013). Estas sustancias solubles influyen de manera significativa en el comportamiento y función de la célula que los asimila. Los factores de crecimiento han sido

estudiados en medicina regenerativa debido a las sorprendentes y aún no del todo conocidas formas de interacción de estos con la célula y la matriz celular nativas que, mediante vías de señalización, definen el comportamiento y funciones celulares. Debido a que los factores de crecimiento se encuentran distribuidos en la compleja arquitectura de proteínas, polisacáridos y proteoglicanos de la matriz, es claro el hecho de que ambos componentes, proporcionan a las células madre un microambiente que influye en su patrón de crecimiento y desarrollo (Taylor Weiner et al., 2013; Donaghue et al., 2014; Meng et al., 2014) (Figura 3).

En ingeniería tisular, los factores de crecimiento interactúan con las células troncales y las matrices extracelulares artificiales de manera similar pero no idéntica al desempeño que presentan in vivo. Ello debido a los cambios en el comportamiento en las células troncales cuando son cultivadas ex vivo, en respuesta a un ambiente que no es idéntico al nativo. Ello incluye a los cultivos celulares generados sobre subestructuras o andamios tridimensionales que promueven per se un comportamiento diferente al de las células cultivadas en sistemas bidimensionales o de monocapa (Nieto Aguilar et

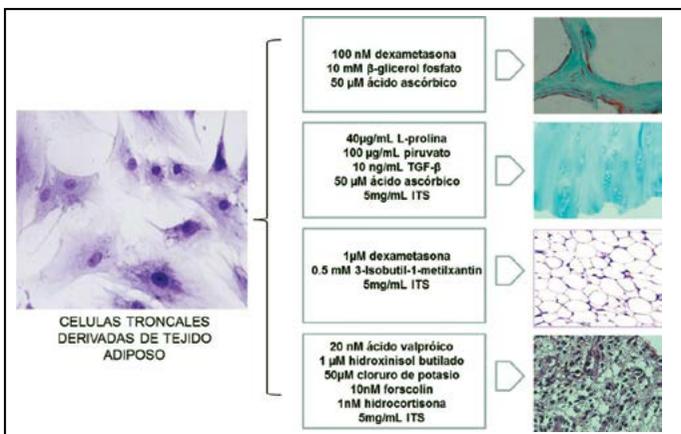


Figura 3. Ejemplos de factores de crecimiento utilizados en ingeniería tisular sobre células troncales derivadas de tejido adiposo. Estas células han sido extensamente estudiadas debido a su potencial de diferenciación y a su fácil obtención y cultivo. La fracción celular obtenible por lipoaspiración o escisión simple incluye en su población tanto a células multipotentes como pluripotentes. Los factores de crecimiento añadidos a dichas células en el grupo pluripotente pueden diferenciarlas a varios tipos celulares. En las imágenes de la derecha se indican de arriba hacia abajo: hueso, cartilago, grasa y tejido nervioso. La imagen de la izquierda corresponde a un cultivo celular ex vivo derivado de la fracción celular obtenida por escisión simple de células troncales mesenquimales derivadas de tejido adiposo teñidas con hematoxilina (20X). Microfotografías obtenidas en el laboratorio de cultivos por el grupo de investigación.

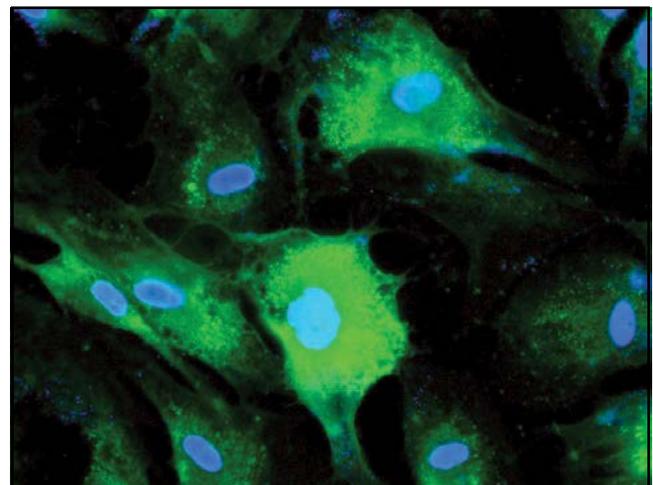


Figura 4. Microfotografía de inmunofluorescencia indirecta de células troncales mesenquimales derivadas de tejido adiposo humano (ADSCs, en inglés), diferenciadas a preadipocitos (40X). El filtro FITC en verde señala actividad de leptina, una proteína propia del tejido adiposo. El filtro DAPI en azul señala la actividad nuclear. Las ADSC son una fuente alternativa de células troncales mesenquimales pluripotenciales, usadas ampliamente en la ingeniería de tejidos. Las células inmersas multipotentes y pluripotentes se obtienen fácilmente y a su vez tienen un potencial de crecimiento, proliferación y diferenciación altos. Microfotografía obtenida por el grupo de investigación.

al., 2011). En el caso de los cultivos tridimensionales, las interacciones entre los factores de crecimiento, las células y la matriz artificial varían respecto a los entornos en monocapa debido a la afluencia, la concentración y la forma de contacto, que afecta la asimilación y deshecho de estos factores.

Los factores de crecimiento más estudiados al momento actual incluyen a moléculas pequeñas y grandes de naturaleza soluble. Entre las moléculas pequeñas destaca el ácido ascórbico, el ácido retinoico y la dexametasona. En el caso de las moléculas grandes sobresalen los factores de crecimiento de fibroblastos, las proteínas morfogénicas óseas y los factores de crecimiento transformantes (Meng et al., 2014).

CONCLUSIONES

La literatura pone de manifiesto que la ingeniería de tejidos es una de las disciplinas del área biomédica

con la indudable capacidad para regenerar tejidos del propio paciente a partir de células extraídas del mismo. Esto convierte a esta disciplina en una de las de mayor potencialidad dentro del campo de la medicina regenerativa y de las que han experimentado mayores tasas de progreso en años recientes. De esta manera, la ingeniería tisular es un campo en rápido crecimiento que posiblemente representa el prototipo de los futuros desarrollos científicos. Su multidisciplinariedad y la continua expansión durante la última década hacen de esta disciplina emergente uno de los campos de inversión más importantes en lo que se refiere a investigación básica, capaz de restituir tejidos enfermos mediante injertos autólogos con la posibilidad de restablecer, modificar o incrementar de forma eficaz la función del tejido dañado.

LITERATURA CITADA

- ALAMINOS, M. et al. Transdifferentiation potentiality of human Wharton's jelly stem cells towards vascular endothelial cells. *Cell physiol*, 223(3): 640-647, 2010.
- ATOUI, R. y CHIU, R. C. Immune responses after mesenchymal stem cell implantation. *Methods Mol Biol*, 1036:107-120, 2013.
- BAINO, F. y VITALE-BROVARONE, C. Three-dimensional glass-derived scaffolds for bone tissue engineering. *J Biomed Mater Res A.*, 97(4): 514-535, 2011.
- BARBU, H. et al. Guided Bone Regeneration in severely resorbed maxilla. *Rev. Chir. Oro-maxilo-fac. Implantol.*, 3(1): 24-29, 2012.
- BINGLER, M. A. et al. Chronic high Epstein-Barr viral load state and risk for late-onset posttransplant lymphoproliferative disease/lymphoma in children. *Am J Transplant.*, 8 (2): 442-445, 2008.
- CASAGRANDE, L. et al. Dental pulp stem cells in regenerative dentistry. *Odontology*, 99: 1-7, 2011.
- CHOPRA, H. et al. Stem cells-the hidden treasure: A strategic review. *Dent Res J (Isfahan)*, 10(4): 421-427, 2013.
- CORBETT, J. L. y TOSH, D. Conversion of one cell type into another: implications for understanding organ development, pathogenesis of cancer and generating cells for therapy. *Biochem Soc Trans.*, 42(3): 609-616, 2014.
- DRESSEL, R. et al. Multipotent adult germ-line stem cells, like other pluripotent stem cells, can be killed by cytotoxic T lymphocytes despite low expression of major histocompatibility complex class I molecules. *Biol Direct.*, Aug 28, 4: 31, 2009.
- GÁMEZ ESCALONA, J. y LÓPEZ MORATALLA, N. Pluripotent stem cells on cell therapy. *An Sist Sanit Navar*, 37(1): 129-136, 2014.
- HE, J. et al. Fibroblast-like cells derived from the gonadal ridges and dorsal mesenteries of human embryos as feeder cells for the culture of human embryonic germ cells. *J Biomed Sci.*, 14(5): 617-628, 2007.
- HILKENS, P. et al. Effect of isolation methodology on stem cell properties and multilineage differentiation potential of human dental pulp stem cells. *Cell Tissue Res.*, 353(1): 65-78, 2013.
- HUTMACHER, D. W. et al. An introduction to biodegradable materials for tissue engineering applications. *Ann. Acad. Med. Singapore.*, 30(2): 183-191, 2001.
- IM, G. I. et al. Do adipose tissue-derived mesenchymal stem cells have the same osteogenic and chondrogenic potential as bone marrow-derived cells. *Osteoarthritis Cartilage*, 13(10): 845-853, 2005.
- KAMOUN, M. y BOYD, J. C. Urinary FOXP3 messenger RNA and renal-allograft rejection. *N Engl J Med*, 354(21): 2291-2293, 2006.
- KWAN, M. D. et al. Principles of tissue engineering. En *Skeletal Tissue Engineering*. 62, 935-944. 3 ed., USA: Elsevier, 2007.
- LADWIG, J. et al. Leveling Waddington: the emergence of direct - programming and the loss of cell fate hierarchies. *Nat RMol Cell Biol.*, 14(4): 225-236, 2013.
- LI, Y. et al. In vitro organogenesis from pluripotent stem cells. *Organogenesis*, 10(2), 2014.

- LU, T. et al. Techniques for fabrication and construction of three-dimensional scaffolds for tissue engineering. *Int J Nanomedicine*, 8: 337-350, 2013.
 - McDEVITT, L. M. Etiology and impact of cytomegalovirus disease on solid organ transplant recipients. *Am J Health Syst Pharm*, 63 (19S5): 3-9, 2006.
 - MORRISON, J. I. Editing our way to regeneration. *Cell Tissue Res*, 7356(3): 533-537, 2014.
 - NIETO AGUILAR, R. et al. Pluripotential differentiation capability of human adipose-derived stem cells in a novel fibrin-agarose scaffold. *J Biomater Appl*, 25(7): 743-768, 2011.
 - NIU, C.C. et al. Identification of mesenchymal stem cells and osteogenic factors in bone marrow aspirate and peripheral blood for spinal fusion by flow cytometry and proteomic analysis. *J Orthop Surg Res*, 9(1): 32, 2014.
 - OLKINUORA, H. et al. Immune deficiency and infections in children having cancer. *Duodecim*, 129(12): 1233-1241, 2013.
 - PATEL, J. et al. Prospective surface marker-based isolation and expansion of fetal endothelial colony-forming cells from human term placenta. *Stem Cells Transl Med*, 2(11): 839-847, 2013.
 - RAFF, M. Adult stem cell plasticity: fact or artifact? *Annu Rev Cell Dev Biol*, 19: 1-22, 2013.
 - RIBEIRO, J. et al. Perspectives of employing mesenchymal stem cells from the Wharton's jelly of the umbilical cord for peripheral nerve repair. *Int Rev Neurobiol*, 108: 79-120, 2013.
 - ROMAGNOLI, C. et al. Drug delivery using composite scaffolds in the context of bone tissue engineering. *Clin Cases Miner Bone Metab*, 10(3): 155-161, 2013.
 - ROSA, V. What and where are the stem cells for Dentistry? *Singapore Dent J*, 34(1): 13-18, 2013.
 - SCHLEE, M. et al. Esthetic outcome of implant-based reconstructions in augmented bone: comparison of autologous and allogeneic bone block grafting with the pink esthetic score (PES). *Head Face Med*, 10(1): 21, 2014.
 - SEKIYA, I. et al. Articular cartilage regeneration with synovial mesenchymal stem cells. *Clin Calcium*, 21(6): 879-889, 2011.
 - SENOO, M. Epidermal Stem Cells in Homeostasis and Wound Repair of the Skin. *Adv Wound Care (New Rochelle)*, 2(6): 273-282, 2013.
 - SINGER, A. L. et al. The high-risk donor: viral infections in solid organ transplantation. *Curr Opin Organ Transplant*, 13(4): 400-404, 2008.
 - SINGH, M. et al. Strategies and applications for incorporating physical and chemical signal gradients in tissue engineering. *Tissue Eng Part B Rev*, 14(4): 341-366, 2008.
 - SUBRAMANIAN, A. K. Antimicrobial prophylaxis regimens following transplantation. *Curr Opin Infect Dis*, 24(4): 344-349, 2011.
 - TAYLOR WEINER, H. et al. Defined extracellular matrix components are necessary for definitive endoderm induction. *Stem Cells*, 31(10): 2084-2094, 2013.
 - TERAOKA, S. et al. Comparative study of clinical outcome in kidney transplantation between early steroid withdrawal protocol using basiliximab, calcineurin inhibitor, and mycophenolate mofetil and triple regimen consisting of calcineurin inhibitor, mycophenolate mofetil, and steroid. *Transplant Proc*, 37(2): 791-794, 2005.
 - THOWFEEQU, S. et al. Transdifferentiation in developmental biology, disease, and in therapy. *Dev Dyn*, 236: 3208-3217, 2007.
 - TORRES PADILLA, M.E. y CHAMBERS, I. Transcription factor heterogeneity in pluripotent stem cells: a stochastic advantage. *Development*, 141(11): 2173-2181, 2014.
 - WALGENBACH, K. J. et al. Tissue engineering in plastic reconstructive surgery. *Anat. Rec*, 263, 372-378, 2001.
 - YANG, S. et al. The design of scaffolds for use in tissue engineering: Part I. Traditional factors. *Tissue Eng*, 7(6): 679-689, 2001.
 - YEH, H. y OLTHOFF, K. M. Live donor adult liver transplantation. *Curr Opin Organ Transplant*, 13(3): 241-246, 2008.
 - YUAN, H. y YAMASHITA, Y. M. Germline stem cells: stems of the next generation. *Curr Opin Cell Biol*, 22(6): 730-736, 2010.
 - ZHANG, X. et al. Synergic silencing of costimulatory molecules prevents cardiac allograft rejection. *J Transl Med*, 12(1): 142, 2014.
 - ZHAO, M. T. y PRATHER, R. S. The multi-potentiality of skin-derived stem cells in pigs. *Theriogenology*, 75(8): 1372-1380, 2011.
 - ZHENG, B. et al. Isolation of myogenic stem cells from cultures of cryopreserved human skeletal muscle. *Cell Transplant*, 21(6): 1087-1093, 2012.
- De páginas electrónicas**
- BHUYAN, M. K. et al. Silicon substrate as a novel cell culture device for myoblast cells. *J Biomed Sci*, 21(1): 47, 2014 [Epub ahead of print]. doi: 10.1186/1423-0127-21-47.
 - CHEN, J. Nanobiomechanics of living cells: a review. *Interface Focus*, Apr 6, 4(2), 2014. doi: 10.1098/rsfs.2013.0055.
 - DASHTDAR, H. et al. PVA-chitosan composite hydrogel versus alginate beads as a potential mesenchymal stem cell carrier for the treatment of focal cartilage defects. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, Oct 22, 2013 [Epub ahead of print]. doi: 10.1007/s00167-013-2723-5.
 - DONAGHUE, I. E. et al. Cell and Biomolecule Delivery for Tissue Repair and Regeneration in the Central Nervous System. *J Control Release*, May 27, 2014 [Epub]. doi: 10.1016/j.jconrel.2014.05.040.

- FARINI, A. et al. Clinical Applications of Mesenchymal Stem Cells in Chronic Diseases. *Stem Cells Int.*, 2014(2014): 1-11. doi: 10.1155/2014/306573.
- FUJI, S. et al. Possible Implication of Bacterial Infection in Acute Graft-Versus-Host Disease after Allogeneic Hematopoietic Stem Cell Transplantation. *Front Oncol.*, 4: 89, 2014. doi: 10.3389/fonc.2014.00089.
- LEE, S. K. et al. A novel cell-free strategy for promoting mouse liver regeneration: utilization of a conditioned medium from adipose-derived stem cells. *Hepatol Int.* [Epub 2014 Dec 25]. doi: 10.1007/s12072-014-9599-4.
- MATEOS TIMONEDA, M. A. et al. Effect of structure, topography and chemistry on fibroblast adhesion and morphology. *J Mater Sci Mater Med.*, 25(7): 1781-1787. [Epub ahead of print]. doi: 10.1007/s10856-014-5199-z.
- MENG, X. et al. Stem cells in a three-dimensional scaffold environment. *Springerplus*, 3: 80, 2014. doi: 10.1186/2193-1801-3-80.
- MUSUMECCI, G. et al. New perspectives for articular cartilage repair treatment through tissue engineering: A contemporary review. *World J Orthop.*, 5(2): 80-88, 2014. doi: 10.5312/wjo.v5.i2.80.
- NIH (NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH), US DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. What are adult stem cells? In Stem Cell Information. Recuperado de <http://stemcells.nih.gov/info/basics/pages/basics4.aspx>
- SHAPIRA, A. et al. Advanced micro- and nanofabrication technologies for tissue engineering. *Biofabrication*, 6(2), 2014. [Epub ahead of print]. doi: 10.1088/1758-5082/6/2/020301.
- SMART, N. J. et al. Biologics Porcine dermis implants in soft-tissue reconstruction: current status. *Biologics*, 8: 83-90, 2014. Published online 2014 Mar 10. doi: 10.2147/BTT.S46469.
- WUCHTER, P. et al. Standardization of Good Manufacturing Practice-compliant production of bone marrow-derived human mesenchymal stromal cells for immunotherapeutic applications. *Cytotherapy*, 17(2): 128-139. doi: 10.1016/j.jcyt.2014.04.002.
- YILDIRIMER, L. y SEIFALIAN, A. M. Three-dimensional biomaterial degradation - Material choice, design and extrinsic factor considerations. *Biotechnol Adv.*, 32(5): 984-999. doi: 10.1016/j.biotechadv.2014.04.014.

El artículo de revisión sistemática como vehículo de escritura, investigación y publicación en ingeniería

The systematic review paper as a vehicle for writing, research and publication in engineering

Jorge Iván Pérez Rave^{1*}

Pérez Rave, J. I. El artículo de revisión sistemática como vehículo de escritura, investigación y publicación en ingeniería. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 70-77, enero-abril 2015.

RESUMEN

Diversos estudios concluyen que hay poco vínculo entre la investigación científica y la formación universitaria. La literatura reporta que no necesariamente aprobar cursos es lo mismo que saber investigar. Se proveen reflexiones sobre la eficacia de los procesos de formación del futuro investigador. El objetivo es aportar insumos para una mejor comprensión del *saber investigar* en el ámbito de la ingeniería, a partir de ese *saber escribir* que es indivisible de otros saberes. El artículo de revisión sistemática es propuesto como posible medio de transformación del individuo, de generación de conocimiento y de producción investigativa; todos ellos, sin considerarse una meta, sino más un proceso a lo largo de la vida.

ABSTRACT

Several studies conclude that the relationship between scientific research and university education is weak. It's been documented that "getting passing grades" does not necessarily lead to "research know-how." Reflections on the effectiveness of the processes involved in the development of future researchers are provided. The aim is to bring insight

Palabras clave: escritura, investigación, ingeniería, revisión de literatura, revisión sistemática.

Keywords: writing, research, engineering, literature review, systematic review.

Recibido: 23 de octubre de 2013, aceptado: 22 de agosto de 2014

¹ Grupo de investigación Gestión de la Calidad, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia-Medellín, Colombia.

* Autor para correspondencia: jorge.perez@udea.edu.co

to better understanding "research know-how" in the field of engineering, by means of "the knowledge of writing", which is indivisible from other forms of knowledge. The systematic review article is proposed as a possible vehicle for individual transformation, knowledge generation and research output. All of which together must be considered a life-long means rather than an end goal.

INTRODUCCIÓN

Es sabido que los retos que le depara la sociedad a la ingeniería son cada vez más dependientes de la actividad investigativa. Delimitando al ámbito formativo, Rojas (2000: 370) precisa que "la investigación alimenta la enseñanza y nos lanza al mundo"; Arroyave (2008: 51) la cataloga como "una estrategia de actuación para el rol docente actual", Díaz Alarcón (2012: 15) resalta "sin investigación no es posible hablar de verdadera formación de un profesional en ninguna carrera universitaria" y Montealegre (2011: 206) señala que aquel estudiante o docente "[...] que no le gusta investigar", "[...] chocará con los muros de la universidad". A pesar de ello, variedad de estudios alertan sobre el escaso desarrollo e interiorización de actitudes y habilidades para la investigación científica en la formación universitaria (Rojas, 2000; Carlino, 2003a; Marín y Morales, 2004; Moreno, 2005; Sabaj, 2009; Montealegre, 2011; Díaz Alarcón, 2012).

Con el presente documento se desea propiciar reflexión sobre la eficacia de la formación del futuro investigador, independiente si, en función del entorno de acción, se le llamará investigador, académico, gerente, director o jefe de mejoramiento, entre muchos otros roles que puede asumir. La reflexión

tiene como propósito aportar insumos para una mejor comprensión del saber investigar en el ámbito de la ingeniería, a partir del desarrollo de ese saber escribir, que es indivisible de otros saberes y que confluyen, en esta propuesta, en el artículo de revisión sistemática como posible vehículo de transformación del sujeto, de generación de conocimiento y de producción investigativa. Todos ellos, sin considerarse una meta, sino más bien, un proceso a lo largo de la vida.

Saber investigar

El mundo demanda de los procesos de formación en investigación futuros titulados que generen descubrimientos que satisfagan las necesidades prioritarias, actuales y futuras, de la sociedad. Además, que den lugar a preguntas emergentes que definan abanicos de estudio cada vez más pertinentes y retadores para una mejor comprensión de la humanidad y de su relación con el entorno. Esta misión necesaria se logra siempre y cuando las etapas que anteceden a los titulados en investigación cumplan criterios mínimos para que puedan ejercer el rol de coproductores de su propia formación y lo sigan haciendo a lo largo de la vida. Según Rojas (1992: 90), deben participar "activa y críticamente en la adquisición de los fundamentos filosóficos, epistemológicos, metodológicos y técnicos instrumentales básicos para: a) construir conocimientos científicos en un área determinada, b) poder expresar su trabajo de forma escrita y oral, c) participar en la aplicación de los conocimientos a través de la práctica transformadora". Por otra parte, Moreno (2005: 6) enfatiza la notable diferencia entre aprobar cursos y saber investigar.

Tradicionalmente se ha dejado en manos de cursos de metodología el desarrollo de las habilidades investigativas, y aunque éstos son fundamentales, es preciso reconocer sus límites. Al respecto, Montealegre (2011: 210) señala que la "investigación hace parte del diario vivir" y que no solo precisa de entrenamiento sino también del desarrollo de una actitud progresiva de investigación. De modo adicional, se cuenta con la formación propia del lema "investigar se aprende investigando". Esta resulta eficaz solo en la medida en que el aprendiz participe activamente en todas las etapas del proceso, lo cual no siempre se da (Moreno, 2005), pues en ocasiones solo lleva a cabo tareas operacionales, como por ejemplo: administración de cuestionarios, tabulación de datos, elaboración de actas, entre otras. Esto lo

convierte, según Sánchez (1993:10), en un "operario" de la investigación. Dicho rol no le permite vivir el ciclo completo y sistematizado que caracteriza a la investigación, de tal modo que el estudiante pueda generar curiosidad continua, apasionarse, concebir ideas, cuestionarlas, precisarlas, relacionarlas, interpretarlas, dominar métodos para producir conocimiento de base científica, reflexionar, generar nuevas ideas, entre otras características del investigador.

El rol operativo prevalece en mayor medida en la formación desde el pregrado, pero incluso puede llegar a verse en el posgrado, sobre todo en proyectos en ejecución a los que el aprendiz ingresa para una etapa específica. Según Rojas (2000: 370): "1) no todo postgrado es un laboratorio de formación de investigadores, 2) la cultura de investigación en los postgrados es menos importante que la cultura docente, y, consecuentemente, 3) el liderazgo científico no es congruente con el postgrado".

En esa vía, de "investigar se aprende investigando", los procesos de formación deben posibilitar que el estudiante asuma el rol de coproductor de su propia formación, no solo apoyándose en seminarios o cursos, sino viviendo, de la mano de investigadores experimentados cada una de las etapas del proyecto, desde que se concibe la idea, se precisa, se desarrolla, se produce y publica conocimiento científico de valor (Moreno, 2005; Hernández et al., 2006). Nótese que propiciar esta estrategia vivencial depende de varios actores. Por un lado está el estudiante, al asumirlo como un agente externo que espera que el sistema le satisfaga sus necesidades y, por el otro, están los demás actores (incluso el mismo estudiante como coproductor); los cuales ayudan a transformar el conocimiento del aprendiz para satisfacer las necesidades de éste, en su otro rol (agente externo), así como las que demandan las sociedades a las que se debe.

A partir de lo expuesto, el resto del escrito tendrá como supuesto el hecho de que el estudiante desea y pone todo su empeño en transformar su conocimiento y avanzar hacia un mejor desempeño. Por tanto, en busca de reflexiones más organizacionales, se hará énfasis en el papel de los demás actores del sistema para dinamizar la transformación del estudiante hacia el rol de coproductor de su propia formación en investigación. Desde esta mirada se requiere un proceso donde el estudiante no solo reciba cursos de metodología de la investigación,

sino que se le brinde la posibilidad de interactuar con investigadores experimentados y con otros estudiantes, a fin de asegurar las posibilidades necesarias para un aprendizaje vivencial. Este escenario no en todos los casos se da, y su ausencia ha sido reportada como una de las barreras a la hora de que el aprendiz, por ejemplo, se enfrente a la complejidad de escribir una tesis, lo que suele traducirse en elevadas tasas de deserción (Carlino, 2003b).

El escenario descrito, entre otras características, facilita que el futuro titulado avance con efectividad en su formación como investigador. Por tanto, dichas condiciones son vehículos fundamentales para que el aprendiz logre dominio del pensamiento vigente sobre el objeto de estudio, de las controversias implícitas, de los vacíos de conocimiento existentes que ameritan nuevas investigaciones, así como de habilidades de pensamiento crítico, producción de conocimiento bajo una metodología científica y divulgación del mismo a través de la publicación escrita.

Escritura y formación en investigación

La investigación, para que exista socialmente y tenga la condición de visibilidad y perdurabilidad, no puede estar a espaldas de la publicación escrita (Rojas, 2000; Echeverri y Echeverri, 2005; Pérez, 2012), siendo reconocida como el principal indicador de desempeño en el ámbito universitario (Escofet et al., 1999). Es ahí donde la escritura aparece como uno de los ejes centrales del proceso de formación en investigación, más aún cuando escribir, leer, pensar, entre otros, se entrelazan en un todo indivisible que define la comprensión del objeto de estudio y potencia el aprendizaje a lo largo de la vida (Ferreiro, 2000). En esa vía,

[...]suponer que alguien que no sabe escribir puede pensar con claridad es una ilusión: la palabra escrita es la herramienta básica del pensamiento. Aquellos que no puedan usarla competentemente estarán en desventaja no solo para comunicar sus ideas a otros sino para definir, desarrollar y entender esas ideas para sí mismos (Thurn, 1999, citado en Carlino, 2003a: 414).

Ong (1987: 81), por ejemplo, señala que “la escritura ha transformado la conciencia humana”; Montealegre (2011: 210) las califica como “imprescindibles e inesperables para el desarrollo y avance de la calidad educativa”, y Echeverri (2005) enfatiza

en la marcada relación entre la escritura y el progreso de la ciencia y la tecnología.

La incidencia de la escritura en la formación en investigación se apoya en el hecho de que el estudiante, al llevar a cabo el proceso de escritura a partir del estado del conocimiento de un saber específico, potencia la amalgama indivisible lectura-revisión-crítica-curiosidad-realimentación-ajuste, etc. Esto da cabida a retos, recursos y progresos que ni siquiera se imaginaban al inicio del escrito, los cuales dan origen a nuevas ideas y al abordaje de las mismas, mediante nuevas perspectivas o asociaciones entre los conocimientos existentes. Puede verse, entonces, que la carencia de la escritura en la universidad inhibe la generación y materialización de las ideas de investigación, y frustra el propósito de transformar al futuro titulado en coproductor de su propia formación. A pesar de la relevancia de ese saber escribir, dentro de la formación en investigación, varios autores (Rojas, 2000; Sabaj, 2009; Montealegre, 2011; Santos Osorio y Rueda Duarte, 2012) alertan sobre la ausencia de esta competencia, tanto en estudiantes de pregrado como de posgrado y, por lo mismo, evidencian vacíos de lectura, pensamiento crítico y lo que de ellos se deriva.

La ausencia de capacidad de escritura en el posgrado puede estar asociada con el supuesto de que el aprendiz trae adquirida desde el pregrado o el bachillerato, lo cual es una falsa premisa. Diversos estudios llaman la atención sobre aprendices de pregrado que no tienen las competencias para producir textos expositivos y argumentativos (Carlino, 2003a; Marín y Morales, 2004; Pérez, 2012; Santos Osorio y Rueda Duarte, 2012), en donde se muestran incapaces de precisar un propósito, justificarlo, ubicar conceptualmente al lector y estructurar el tema con coherencia; a esto se le suman errores de gramática y hasta plagio (Sabaj, 2009; Jaramillo y Rincón, 2014). El aprendiz ingresa a la universidad con estas falencias, e inicia y vive el posgrado con las mismas. Tal situación se torna crítica al enfatizar en la escritura del artículo científico, puesto que la versión a publicar es una construcción conjunta autor-evaluadores-editor, que hace la enseñanza de ello un mayor desafío (Sabaj, 2009).

Una de las razones por las que el estudiante no logra desarrollar actitudes y habilidades frente a la escritura científica es porque la academia

no le posibilita recopilar experiencias de escribir para publicar (Carlino, 2003a; Sabaj, 2009; Rojas y Barboza, 2013; Álvarez, 2014). La trayectoria del estudiante frente a la escritura de textos expositivos y argumentativos y su realimentación no se constituyen en una práctica diaria (Montealegre, 2011: 204). Al respecto, Sommers (1980) y Álvarez (2014) señalan que el aprendiz, cuando apenas se acerca a este proceso, lo hace meramente para el control académico, la evaluación del curso. Bajo esta mirada, la escritura no es tomada como motor de desarrollo del pensamiento, de creación de significados y de aprendizaje vitalicio, sino que se limita a lo técnico, a lo instrumental, a juntar letras para establecer relaciones entre unidades sonoras o gráficas (Echeverri y Echeverri, 2005). Aparte de que el estudiante no ve en la escritura un vehículo de aprendizaje, tampoco es visto así por algunos docentes.

Según Russell (1990: 55) toman la escritura como algo independiente de las disciplinas, “[...] algo que debería haber sido aprendido en otros lugares, enseñada por alguien más. De ahí las quejas casi universales sobre la escritura de los estudiantes y el rechazo a responsabilizarse de su enseñanza”.

En Carlino (2003a) se corrobora que no se aprende a escribir en el vacío, sino ante los problemas de cada disciplina, y Díaz Alarcón (2012) advierte sobre la necesidad de profesionalizar trabajos de investigación desde las aulas. Sin embargo, hay docentes que se limitan a ser multiplicadores del conocimiento creado por otros y renuncian a su misión de producir conocimiento en la disciplina que les compete (Mockus, 1995; Medina, 2008). Quizá, en palabras de Rojas (2000: 369), “porque ha sido más fácil reproducir que producir el conocimiento”. En esa dirección, Gustavo Baena (citado en Vásquez y Campo, 2008: 131), expresa “[...] el mejor maestro es aquel que investiga e involucra apasionadamente en lo que investiga al estudiante”. Además de que se evade dicha responsabilidad, tampoco se cuenta con la experiencia para enseñar a leer y escribir en cada disciplina (Carlino, 2003a; Medina, 2008; Sabaj, 2009); aquellos docentes que no saben escribir se muestran desinteresados frente a las posibilidades ofrecidas por otros.

Según Echeverri y Echeverri (2005, sección “La escritura en la universidad”, párr. 2 y párr. 3): “les atemoriza no sólo esa ignorancia, sino dejarla en evidencia frente a sus compañeros, directivos y

estudiantes”, “los docentes, sobre todo, los más jóvenes, con una formación que descuida estos detalles, escriben exactamente igual a como lo hacen sus estudiantes”. Más aún, Rojas (2000: 732) enfatiza: “hemos perdido el rumbo”, « [...] el aula se ha transformado en una “jaula” de loros. Se sigue repitiendo la lección de la guía o el esquema del profesor, como si él tuviera la razón».

De nuevo, tanto en los docentes que saben escribir como en los que no, prevalece la costumbre de culpar procesos de formación anteriores del aprendiz y evadir la responsabilidad transversal de la escritura como vehículo de aprendizaje a lo largo de la existencia. De este modo no se transformará el aprendiz en aquel necesario escritor, lector, pensador y coproductor de aprendizaje permanente y, por lo mismo, tampoco se llegará a ese modo de ser, de hacer y de sentir del investigador científico (Rojas, 2000: 369).

Nuevamente, la escritura se enfoca como una “pastilla más”, como un prerequisite en una enorme receta curricular. Es así que para coadyuvar a superar estas falencias no hace falta incorporar más materias en los currículos, o trasladar el problema a cursos de escritura y comprensión lectora, sino que es preciso reorientar la experiencia docente-estudiante en cada una de las disciplinas (Carlino, 2003a; Echeverri y Echeverri, 2005; Moreno, 2005; Cartolari y Carlino, 2011; Montealegre, 2011); al final, recuérdese que la escritura incide en el desarrollo e interiorización del conocimiento y los problemas por investigar se enmarcan en una o más disciplinas. Esta propuesta, común en estudios sobre el tema, tiene como prerequisite que para generar cambios en la forma de actuar es preciso primero generar cambios en la forma de pensar, lo cual debe manifestarse con la aceptación institucional de que la escritura es más que un medio para representar el lenguaje o el pensamiento (Cartolari y Carlino, 2011). Debe lograrse el compromiso de toda la institución frente a la cultura de la escritura, como motor de desarrollo del pensamiento, de creación de significados, de cultura investigativa, de producción científica y tecnológica, de aprendizaje durante el resto de la vida, y de construcción bidireccional, que por lo mismo amerita realimentación pares-autor, y que procura consensos a medida que cada uno se coloca en los “zapatos del lector”. Estos elementos actitudinales de inicio, en los que se acepta que “docente, lectura, escritura e investigación hacen parte de un proceso pedagógico imprescindible”

(Montealegre, 2011: 200), adicionándole al estudiante como coproductor, han sido compromisos prioritarios en estrategias en las que se aprende a escribir, al tiempo que se enseñan saberes específicos (Bazerman et al., 2005; Kolikant et al., 2006). Estas tienen como premisa que el estudiante desarrolla e interioriza el *saber* de cada materia, en la medida en que se le comprometa con la cultura de la escritura en cada campo de estudio, en donde vale adicionar la presencia de docentes motivados hacia la investigación (Figura 1).



Figura 1. Cocreación de la escritura.
Imagen tomada de @[Dankalilly]/123RF.COM.

Revisión sistemática, escritura e investigación

La reorientación docente-estudiante frente a la escritura e investigación no va dirigida a cualquier tipo de escritura, sino a la escritura científica, y precisa no sólo la experiencia para enseñar a leer y escribir por parte del docente, sino que además supone un dominio en la práctica de la investigación científica (Sabaj, 2009). Así, podrá guiarse la construcción del artículo de investigación científica (AIC): "un puente que une a científicos y constituye una base fundamental para la construcción de la cultura científica actual" (Rojas, 2000: 371), el cual presenta, en términos generales, la estructura IMRYD: introducción, materiales y métodos, resultados, y discusión (Villagrán y Harris, 2009; Pérez, 2012). Ello amerita un discurso en forma secuencial y lógica, con precisión en su propósito y justificación bajo los antecedentes, con adecuado uso de cuadros y gráficas, con sustento en premisas

del método científico (objetividad, reproducibilidad, fiabilidad y validez), y con una exposición imparcial, argumentada y contrastada con la literatura, entre otros criterios de calidad (Alley, 1996; Marín y Morales, 2004; Pérez, 2012).

Pensar, entonces, que en cada semestre uno o más cursos incorporarán la escritura del artículo de investigación científica, como posible medio de evaluación, puede ser complejo; sobre todo si se considera, entre otros factores, el exceso de profesores de cátedra, los cuales tienen más limitantes para asumir la dedicación que demanda la práctica investigativa. La complejidad expuesta se debe a que la escritura del AIC debe estar precedida, o en casos hasta en paralelo, del despliegue de la metodología de la investigación científica; amerita precisar un problema, plantear objetivos, diseñar instrumentos, recopilar datos, procesarlos, realizar controles de calidad, recibir realimentación, generar resultados, analizarlos e interpretarlos. A ello, súmese recursos económicos, sobre todo para el trabajo de campo, y lo que demanda de tiempo la redacción del artículo.

Sin embargo, una de las posibles estrategias para contribuir con la escritura científica en cada semestre es recurrir a la revisión de la literatura, la cual es catalogada por Moreno et al. (2004: 193) como "piedra angular de la investigación científica". Al enfocar la escritura hacia el artículo de revisión puede conducirse a la componente indivisible escribir-leer-pensar-crear sobre un determinado tema en cualquier disciplina. Al tratarse de una etapa transversal en la investigación, lleva a identificar los estudios preliminares sobre el tema de interés, familiarizarse con el pensamiento vigente, conocer los desafíos, ubicar los intereses investigativos dentro de la literatura actual, e indagar maneras de dar respuesta a las brechas de conocimiento científico, entre otras bondades.

Toda esa amalgama escribir-leer-etc. facilita, a su vez, el desarrollo de varias de las habilidades del investigador científico (Moreno, 2005; García y Manzano, 2010; Díaz Alarcón, 2012): buscar, contrastar, verificar, diseñar procedimientos e instrumentos, imaginar, producir, evaluar, sistematizar, interpretar, argumentar, analizar información, exponerla, discutir sobre ella y crear nuevas propuestas. Además, no sobra resaltar los valores y actitudes que entrelazan ética e investigación.



Figura 2. Vehículo de aprendizaje.

Fotografía tomada de ©[Sergey Nivens]/123RF.COM

En otras palabras, se requiere que la introducción del estudiante en el campo de conocimiento de la idea de revisión garantice el despliegue de la metodología de la investigación científica, de acuerdo con cada disciplina. De este modo, la escritura del artículo de revisión resalta su validez en dicho proceso y por cada semestre, siempre y cuando la localización y el procesamiento de los grandes volúmenes de información, la generación de resultados, la deducción del estado actual del tema y sus desafíos, se hagan bajo un proceso donde el estudiante viva la práctica de la investigación, a partir de la concepción de idea hasta su abordaje, con garantía de objetividad, fiabilidad, reproducibilidad y validez. Es allí donde la revisión sistemática, bien reconocida en la medicina, provee el mejor asocio con los criterios expuestos en comparación con la revisión tradicional (o narrativa). Al respecto, diversos autores dan cuenta de las bondades de este tipo de revisión dentro del paradigma científico (Kitchenham, 2004; Shull et al., 2008; Pérez, 2012); amerita formular preguntas de investigación, declarar la literatura disponible, precisar métodos para ubicar la literatura relevante, hacer explícitos los criterios de inclusión/exclusión de estudios, posibilitar el escrutinio, generar resultados con base en evidencia, analizarlos, contrastarlos, caracterizarlos, y concluir sobre el estado del tema

y sus desafíos. Bajo la revisión sistemática, se cumple entonces con el paradigma científico, al tiempo que introduce al estudiante-docente en la escritura, lectura, crítica, realimentación, ajuste, mejora, curiosidad y hasta la alfabetización informacional, etc., en favor de aprendizaje por descubrimiento y de la producción de conocimiento en cada disciplina (Figura 2).

Es un vehículo de interiorización de actitudes y de desarrollo de habilidades investigativas; no merece cerrarse cada ciclo sin considerar la responsabilidad del investigador de divulgar conocimiento útil para la humanidad a través, en este caso, de la publicación del artículo de revisión. Más aún, cuando en términos de Sabaj: "enseñar a investigar, enseñar a escribir y enseñar a publicar son tres aspectos que están claramente vinculados" (Sabaj, 2009: 110). Es así como, a través del artículo de revisión sistemática, se potencia ese saber escribir, que es indivisible de otros saberes, conducentes al pertinente saber investigar y a su posterior saber publicar.

CONCLUSIONES

Se ha visto que aprobar cursos no garantiza saber investigar; tampoco lo es la *modalidad práctica* que no sobrepasa el rol operativo; menos lo es la *experiencia investigativa* que se adquiere a espaldas de la escritura y de todo lo que de ella se deriva. A pesar de esto, la literatura reporta ausencia de actitudes y habilidades de escritura en el estudiante, pero también en el docente, que se supone experto y contribuyente en su disciplina; por tanto, se hace viable la duda en cuanto a la eficacia de algunos procesos de formación investigativa, en donde quizá son muchos los de cursos pero pocos los de saber investigativo.

En ese llamado a reflexionar e interiorizar las potencialidades de la escritura como vehículo de lectura, pensamiento, desarrollo y creación, se ha argumentado cómo el artículo de revisión sistemática puede ser una estrategia vivencial de la enseñanza de la triada escritura-investigación-publicación en ingeniería. Cabe anotar que tal estrategia depende del necesario cambio cultural, compromiso institucional, en el que se transforme la experiencia docente-estudiante hacia una escritura con aporte bidireccional en cada disciplina, una construcción entre pares, más allá de una simple forma instrumental.

LITERATURA CITADA

- ALLEY, M. *The Craft of Scientific Writing*. 3 ed. Lexington, KY, USA: Springer, 282 pp., 1996.
- ÁLVAREZ, M. Propuesta didáctica basada en las técnicas de Gianni Rodari y los juegos de Edward De Bono para la producción de textos literarios creativos. *Revista de Comunicación de la SEECI, XVIII(33)*: 119-120, 2014.
- ARROYAVE, D. Investigar: Una estrategia de actuación para el rol docente actual. *Revista Investigaciones en Educación, VIII(1)*: 63-81, 2008.
- BAZERMAN, C et al. *Reference Guide to Writing across the Curriculum*. Indiana, USA. Parlor Press LLC, 175 pp., 2005.
- CARLINO, P. Alfabetización académica: Un cambio necesario, algunas alternativas posibles. *EDUCERE: La Revista Venezolana de Educación, 6(20)*: 409-420, 2003a.
- CARTOLARI, M. y CARLINO, P. Leer y tomar apuntes para aprender en la formación docente: un estudio exploratorio. *MAGIS: Revista Internacional de Investigación en Educación, 4(7)*: 67-86, 2011.
- DÍAZ ALARCÓN, M. V. La formación para la investigación de los docentes universitarios como agentes de cambio ante los nuevos desafíos. *Didasc@lia: Didáctica y Educación, III(1)*: 13-24, 2012.
- ECHEVERRI, J. *Investigar- Publicar: una relación hacia la comunicabilidad del conocimiento*. Medellín: Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 506 pp., 2005.
- ESCOFET, A. et al. Escribir en la Universidad. *Revista Española de Pedagogía, LVII(214)*: 547-566, 1999.
- FERREIRO, E. Leer y escribir en un mundo cambiante. *Novedades Educativas, 12(15)*: 4-7, 2000.
- GARCÍA, G. y MANZANO, J. Procedimientos metodológicos básicos y habilidades del investigador en el contexto de la teoría fundamentada. *Iztapalabra: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades, 69*: 17-39, 2010.
- HERNÁNDEZ, R. et al. *Metodología de la investigación*. 4 ed., Iztapalapa, México D. F.: McGraw-Hill, 850 pp., 2006.
- JARAMILLO, S. y RINCÓN, N. Los estudiantes universitarios y la sociedad de la información: una combinación que ha facilitado el plagio académico en las aulas colombianas. *Información, Cultura y Sociedad, 30*: 127-137, 2014.
- KITCHENHAM, B. *Procedures for performing systematic reviews*. Technical Report TR/SE-0401. Australia, 28 pp., 2004.
- KOLIKANT, Y. et al. A cognitive-apprenticeship-inspired instructional approach for teaching scientific writing and reading. *Journal of College Science Teaching, 36(3)*: 20-25, 2006.
- MARÍN, E. y MORALES, O. Análisis de textos expositivos producidos por estudiantes universitarios desde la perspectiva lingüística discursiva. *EDUCERE: La Revista Venezolana de Educación, 8(26)*: 333-345, 2004.
- MEDINA, J. Propuesta para la elaboración de ensayos académicos. *Revista Quaestiones Disputatae-Temas en Debate-*, 3: 97-108, 2008.
- MOCKUS, A. Tejiendo Tejido Social. En *Corporación región. Educación y sociedad: Maestros, gestores de nuevos caminos* (pp. 10-34). Medellín: Corporación Región, 1995.
- MONTEALEGRE AGUILAR, A. Leer y escribir para investigar en la educación superior: un proceso. *Actualidades Pedagógicas, 2011(57enero-junio)*: 199-212, 2011.
- MORENO, A. et al. La acreditación de las competencias informacionales como requisito de los programas de maestría y doctorado. *Anales de documentación, 2004(7)*: 185-198, 2004.
- MORENO, M. Potenciar la educación. Un currículo transversal de formación para la investigación. *REICE, Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación, 3(1)*: 520-540, 2005.
- ONG, W. *Oralidad y escritura tecnologías de la palabra*. 2 ed. Traducción de Angélica Scherp. México: Fondo de Cultura Económica, p. 81, 1987.
- PÉREZ, J. *Revisión sistemática de literatura en ingeniería*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia. 102 pp., 2012.
- ROJAS, J. y BARBOZA, L. Papel de las universidades en la promoción de la investigación en los estudiantes de pregrado. *Avances en Biomedicina, 2(1)*: 1-2, 2013.
- ROJAS, L. La cultura del artículo científico y su importancia para la investigación y el posgrado. *Telos: Revista de pensamiento sobre comunicación, tecnología y sociedad, 2(2)*: 369-380, 2000.
- ROJAS, S. *Formación de investigadores educativos. Una propuesta de investigación*. México: Plaza y Valdés, p. 90, 1992.
- RUSSELL, D. Writing Across the Curriculum in Historical Perspective: Toward a Social Interpretation. *College English, 52*: 52-73, 1990.
- SABAJ, O. Descubriendo algunos problemas en la redacción de artículos de investigación científica (AIC) de alumnos de posgrado. *Revista Signos, 42(69)*: 107-127, 2009.
- SANTOS OSORIO, J. y RUEDA DUARTE, D. *Efectos de la televisión y las redes sociales en las competencias comunicativas de los estudiantes de la universidad EAN*. Trabajo de grado para optar al título de Profesional en Lenguas Modernas. Bogotá: Universidad EAN. Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales. 166 pp., 2012.

- SHULL, F. et al. *Guide to Advance Empirical Software Engineering*. Springer-Verlag London Limited, 388 pp., 2008.
 - SOMMERS, N. Revision strategies of student writers and experienced adult writers. *College Composition and Communication*, 31(dic): 378-388, 1980.
 - VÁSQUEZ, F. y CAMPO, R. Conversando con Gustavo Baena "El mejor maestro es aquel que investiga e involucra apasionadamente en lo que investiga al estudiante". *Revista Actualidades Pedagógicas*, 52: 131-145, 2008.
 - VILLAGRÁN, A. y HARRIS, P. Algunas claves para escribir correctamente un artículo científico. *Revista Chilena de Pediatría*, 80(1): 70-78, 2009.
 - del Valparaíso, 5-9 de mayo de 2003. Recuperado el 18 de marzo de 2013, de http://www.escrituraylectura.com.ar/posgrado/articulos/Carlino_La%20experiencia%20de%20escribir%20una%20tesis.pdf
 - ECHEVERRI, J. y ECHEVERRI, G. Investigar para publicar: una pregunta y una propuesta para la escritura de los docentes en la universidad. *Uni-Pluri/Versidad*, 5(2), 2005. [Versión en línea]. Recuperado el 20 de febrero de 2013, de <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/unip/article/viewFile/12152/11033>
 - SÁNCHEZ, P. Didáctica de la problematización en el campo científico de la educación. *Revista Perfiles Educativos*, 61, 1993. Recuperado el 19 de febrero de 2013, de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=13206108#>
- De páginas electrónicas**
- CARLINO, P. La experiencia de escribir una tesis: contextos que la vuelven más difícil. *II Congreso Internacional Cátedra UNESCO Lectura y Escritura*. Pontificia Universidad Católica

Santiago Genovés Tarazaga. *In memoriam*

Mari Carmen Serra Puche¹

Serra Puche, M. C. *In memoriam*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 78-79, enero-abril 2015.

El Dr. Santiago Genovés Tarazaga nació en Orense, Galicia, España, el 31 de diciembre de 1923 y murió en la Ciudad de México el 5 de septiembre de 2013.

Investigador que formó parte de renombradas instituciones internacionales y cuya obra pertenece a la literatura básica en temas como la violencia, el comportamiento, la estructura corporal del hombre y su evolución. Una vida dedicada a la búsqueda de respuestas al comportamiento humano, y muy de acuerdo con lo que es la antropología, una noble tarea de estudiar al hombre biológica y socialmente. Santiago Genovés supo combinar estas dos facetas: nuestra biología y nuestro ser.

Toda semblanza dedicada al Dr. Santiago Genovés no es solamente al antropólogo, sino también a la antropología mexicana y a la UNAM misma. Sin embargo, por la calidad de sus trabajos, la obra de Genovés debe estar dentro del marco de la antropología mundial, ya que sus investigaciones tienen un reconocimiento internacional, al igual que sus adscripciones a numerosas instituciones en todo el mundo, las cuales le abrieron espacios para importantes encuentros mundiales.

Un breve recorrido por la vida de Santiago Genovés puede ayudar a resaltar los rasgos básicos que lo ubican dentro de la antropología mexicana, ya que él forma parte de ese grupo de exiliados españoles, escritores e intelectuales, hombres de ciencia, maestros, obreros calificados, políticos; es decir, esa inmigración de inteligencia española en plenitud, que en un momento crucial llegó a México para hacer su valiosa y oportuna aportación cultural.

Genovés estudia su bachillerato en México, Antropología Física en la Escuela Nacional de



En la imagen aparece el Dr. Santiago Genovés Tarazaga.
Foto tomada de eluniversal.com.mx

Antropología de 1948 a 1952 y el doctorado en la Universidad de Cambridge de 1953 a 1956. En este último año regresa a México y lo nombran Jefe de Bodega y Laboratorio de Antropología Física en el Museo Nacional, en esa dependencia quedan a su cargo los restos de lo que entonces se consideraba el hombre más antiguo de América: el llamado "Hombre de Tepexpan". Sin embargo, después de una serie de estudios, Genovés concluyó que no se trataba de un hombre sino de una mujer joven y no tan alta como muchos habrían pensado. Estas declaraciones le consiguieron diversas críticas, y así, a lo largo de su vida sus descubrimientos y forma de investigar continuaron provocando críticas de las que siempre salió triunfante.

Impartió también el curso de paleoantropología y el seminario sobre evolución del hombre en la ENAH. En 1956 ingresa al Instituto de Investigaciones Históricas de la Universidad Nacional Autónoma de México, en su sección de Antropología, que se convierte después en el actual Instituto de Investigaciones Antropológicas. Ante la carencia

¹ Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.

* Autor para correspondencia: mcserra@unam.mx

de estudios disciplinarios antropológicos en la UNAM, los primeros pasos en la instauración de la antropología en esta institución se dieron gracias a un grupo de investigadores asociados a la Sección de Antropología, en el Instituto de Investigaciones Históricas. Ya en el ámbito universitario, en 1959, Genovés contribuye a la creación del Doctorado en Antropología en la UNAM. Genovés es uno de los fundadores de nuestro Instituto, por lo que las generaciones jóvenes deberían conocer más de su obra y de su estilo de hacer antropología como una forma de vida, con pasión, audacia, valentía y entrega.

El paleoantropólogo de más renombre en Latinoamérica, tanto por sus investigaciones de campo como por sus integraciones teóricas en el área de la evolución del hombre. Por todo ello se le otorga, al establecerse por primera vez en México, el Premio Nacional de la Investigación, por la Academia de Investigación Científica, junto con los doctores Moshinsky y Hernández Peón. Realiza las investigaciones conducentes a establecer los parámetros válidos para la reconstrucción de la estatura en mesoamericanos, hoy utilizados por todos los investigadores latinoamericanos y extranjeros, al tiempo que lleva a cabo la investigación conducente a demostrar que las suturas craneales no sirven absolutamente para nada —excepto la esfeno-basilar—, en lo que se refiere a la determinación de la edad. Asienta, asimismo, que la pelvis de las mujeres prehispánicas era sensiblemente más alta que la de sus contrapartidas europeas, lo que posee implicaciones fundamentales en ginecoobstetricia. Todos estos trabajos han pasado a los libros de texto de anatomía de diversos países. Revisa también a nivel mundial, el llamado *aumento secular de la estatura*, lo que muestra que se ha exagerado en demasía.

Durante la década de los sesenta trae a México, en dos ocasiones, a la American Association of Physical Anthropologists y es nombrado editor del *Yearbook of Physical Anthropology* (1964-1968). Es el biólogo humano que, a nivel mundial, escoge entre más de 7,000, aquellos 20 trabajos que deben reproducirse en el *Yearbook*. Verdadero honor, verdadero trabajo. Integra, al mismo tiempo, la película *¿Pax?* en 1 hora y 16 minutos sobre malentendidos biológicos y antropológicos que sirven de excusa para justificar, erróneamente, la violencia.

Publica la última revisión mundial que se inserta en el *Yearbook* (1968) acerca de los avances más significativos en biología humana en ese año. Al percibir que se investiga mucho fuera de los ámbitos

oficiales, funda la International Society of Human Biologists, que cuenta con más de mil miembros de todo el mundo.

Los estudios de biología humana y de antropología los encausa hacia el comportamiento de los individuos bajo circunstancias diversas. En busca de respuestas en torno a la violencia humana realiza varios experimentos que lo hicieron famoso. Organiza una travesía por el océano mediante dos expediciones en las balsas de papiro Ra I y Ra II y finalmente en la balsa Acali, que enfrentan a sus pasajeros a la soledad, al aislamiento y los peligros del mar; circunstancias que provocan diversas conductas violentas. Por estos trabajos en torno a la violencia y la agresión recibe el Premio Internacional de la Paz. Su originalidad en el tema nos hace reflexionar hoy cómo se adelantó a nuestro tiempo. “El hombre sí ataca: en la guerra y en la paz. Por envidia, por dinero, por idioma, por religión, por masculinidad, por raza, por no admitir la diferencia, por moda, por tontería, por nada....”.

Polémico y controvertido como investigador, un día le preguntaron: “¿Qué ha hecho en su vida?” y él contestó:

“Ni los 18 libros publicados algunos traducidos a varios idiomas, ni las 200 publicaciones en revistas de ciencias; ni averiguaciones sobre paleoantropología, evolución, sexo, sexualidad, espacio, inteligencia, personalidad, comunicación verbal y no verbal, familia, pensamientos trascendentes, liderazgo, roles, estatura, aumento secular, edad, origen del hombre en América, agresión, Tepexpan, conflicto, violencia etcétera; ni Los Vascos (estudiados en su libro de 1980 *La violencia en el país Vasco en sus relaciones con España*, publicado por la UNAM) ni la película *¿Pax?*, ni tirarme del Volador, ni el dibujo animado *El músculo y la cultura* ni las dos balsas Ra ni la tercera Acali, ni el haber sido editor del *Yearbook* cuatro años, ni el análisis del secuestro del avión que iba a Monterrey; ni los congresos, simposios, mesas redondas; ni la fundación de la International Society of Human Biologists, ni participaciones en *La Clave*, gran programa de televisión en España... lo son 105 páginas de un librito: *El mar, los peces y yo*”.

Y aun cuando él pensaba modestamente que toda su vida se plasmaba en este libro, Genovés recibirá siempre un merecido homenaje por el simple hecho de dedicarse apasionadamente a la investigación y difusión antropológica, y ofrecer los resultados a las nuevas generaciones de estudiantes en este campo.... creo yo, que esto es hacer algo en la vida.

La logística y la gestión de la cadena de suministro como estrategias de marketing: una perspectiva de la PyME de Aguascalientes

Maldonado Guzmán, G., y Martínez Serna, M. C. *La logística y la gestión de la cadena de suministro como estrategias de marketing: una perspectiva de la PyME de Aguascalientes*. Aguascalientes: UAA, 2013, 337 pp., ISBN 978-607-8285-18-1.

Sandra Yesenia Pinzón Castro^{1*}

Pinzón Castro, S. Y. *La logística y la gestión de la cadena de suministro como estrategias de marketing: una perspectiva de la PyME de Aguascalientes*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 64: 80-81, enero-abril 2015.

La logística y la gestión de la cadena de suministro como estrategias de marketing: una perspectiva de la PyME de Aguascalientes es un libro escrito por dos profesores/investigadores del Departamento de Mercadotecnia del Centro de Ciencias Económicas y Administrativas, del cual la Universidad Autónoma de Aguascalientes realizó la primera edición en mayo de 2013, con el número de ISBN 978-607-8285-18-1. Contiene 337 cuartillas que integran cuatro apartados y un anexo con la encuesta utilizada para recabar la información. En esta obra los autores describen con sencillez y claridad: a) la relación entre la logística, la gestión de la cadena de suministro y el *marketing*, b) la logística como una estrategia de *marketing* en la PyME, c) la gestión de la cadena de suministro como una estrategia de *marketing* en las PyME, y d) los efectos de la logística y la gestión de la cadena de suministro en las PyME.

De manera breve, es pertinente señalar que las pequeñas y medianas empresas (PyME) son el sector más importante en cualquier economía de cualquier país del mundo y representan para el caso de México el 99.8% del total de las empresas asentadas en territorio nacional, emplean a un poco más del 55% del total de la fuerza laboral y aportan un poco más del 50% del PIB (INEGI, 2009)². Sin embargo, a pesar de la importancia que reviste este tipo de empresas, son escasos los estudios científicos que se han orientado a la problemática que enfrentan las PyME, e incluso son más escasos los estudios empíricos que aportan soluciones a los problemas más graves que tienen las PyME, no solamente de los países en vías de desarrollo o de economías emergentes (como

es el caso de México), sino de los propios países desarrollados.

En este sentido, es importante la contribución que realizan los autores al analizar de manera detallada dos de las variables que tienen más efectos, no solamente en el crecimiento y desarrollo de las PyME sino en su propia sobrevivencia (la logística y la cadena de suministro). Asimismo, es importante



Portada del libro *La logística y la gestión de la cadena de suministro como estrategias de marketing: una perspectiva de la PyME de Aguascalientes*.

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

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

² INEGI (2009). Censos Económicos 2009. México.

resaltar que los autores analizan estas dos variables como estrategias de marketing, y no simplemente como dos maneras de reducir los costos totales de las PyME; ya que la aplicación del marketing en la logística y la cadena de suministro permiten a las PyME, al igual que a cualquier otro tipo de empresas, mejorar la eficiencia en la integración de los proveedores, productores, clientes, almacenes, distribuidores y detallistas; lo cual redundará en la maximización de la satisfacción del servicio en los niveles requeridos por los clientes y consumidores finales en un mercado cada vez más globalizado.

Los autores presentan un análisis y discusión de la teoría que sustenta científicamente la importancia de la logística en las empresas, sobre todo en las PyME para analizar después de manera minuciosa las actividades de logística que actualmente implementan las PyME asentadas en el estado de Aguascalientes, y encontrar resultados interesantes como, en primera instancia, que la *logística tiene que ser flexible*; ya que las PyME tienen que adaptarse a las necesidades y requerimientos de los clientes (empresas), más cuando son proveedoras de las grandes empresas. En segunda instancia deben tener la *capacidad de agregar valor en los servicios de logística* de tal manera que las PyME disminuyan los costos de los envíos y entreguen los productos en los lugares señalados, en el tiempo establecido y en las cantidades acordadas (*Just in Time*).

Con respecto a la gestión de la cadena de suministro es importante resaltar que los autores realizaron un análisis exhaustivo de la teoría científica y su aplicación en las PyME, puesto que la mayoría de los estudios tanto teóricos como empíricos publicados en la actual literatura se orientan principalmente a las grandes empresas y los pocos estudios que se han aplicado en las PyME se han enfocado en este tipo de empresas de los países desarrollados. Por tanto, los autores analizaron la gestión de la cadena de suministro en las PyME de Aguascalientes como la integración de los procesos

de la organización con los proveedores, centro de distribución y detallistas con la finalidad de mejorar significativamente el flujo de los bienes, servicios e información desde los proveedores de las materias primas hasta los clientes y consumidores finales, con el firme objetivo de reducir al máximo los costos totales de las PyME, sin descuidar los requerimientos de calidad de los productos y servicios.

Bajo este contexto, los autores concluyen su obra analizando y discutiendo los efectos que tienen tanto la logística como la gestión de la cadena de suministro en el rendimiento económico de las PyME y en el nivel de competitividad de las mismas. En cuanto al rendimiento económico se concluye que en general las PyME tienen un nivel de servicio al cliente, una calidad de productos y una posición competitiva aceptables, pero que estas variables son mayores a medida en que se incrementa el tamaño de las empresas. Con respecto al nivel de competitividad los autores concluyen que el retorno de la inversión, las ventas y los créditos contratados en los tres últimos años no han sido muy buenos, lo cual genera un bajo nivel de competitividad entre las PyME asentadas en el estado de Aguascalientes.

En conclusión, la obra fue escrita de manera clara y sencilla al ofrecer al lector argumentación científica sobre la logística y la gestión de la cadena de suministro, y una variedad de información plasmada en tablas que son fáciles de entender; con una aplicación práctica, tanto para los alumnos de pregrado en las licenciaturas en Mercadotecnia, Administración y Administración de la Producción, como de posgrado en la Maestría en Administración y el Doctorado en Ciencias Administrativas. Dicha aplicación práctica es también para los empresarios y autoridades gubernamentales de los tres niveles, para que puedan tomar mejores decisiones y diseñar e implementar programas de apoyo a las PyME. La información puede ser útil también para que los profesores puedan preparar sus clases y, por supuesto, para los investigadores.

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, DOAJ, HELA, ULRICH'S *Periodicals Directory* e Informe Académico.

El primer número se publicó en el año de 1990 y hasta el momento se han editado más de 50. 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, éstas 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 Rosa del Carmen Zapata 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.

Colaboración e informes

Revista *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*

Dirección General de Investigación y Posgrado
Departamento de Apoyo a la Investigación
Av. Universidad núm. 940, C.U.,
Edificio 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