

INVESTIGACIÓN y CIENCIA

DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

CIENCIAS AGROPECUARIAS, CIENCIAS MÉDICAS, CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS,
INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS, CIENCIAS ECONÓMICAS, SOCIALES Y HUMANIDADES

EDICIÓN CUATRIMESTRAL AÑO 17 SEPTIEMBRE- DICIEMBRE DE 2006

45

ISSN: 1665-4412



Nemátodo de vida libre *Panagrellus redivivus* (Goodey, 1945): Una alternativa para la alimentación inicial de larvas de peces y crustáceos

Hábitos alimenticios de los caballos *Dinohippus mexicanus* y *Neohipparion eurystyle* del Hemphiliano Tardío de Tecolotlán, Jalisco, México

Diseño y fabricación de un aparato para el depósito de películas delgadas por el método de rotación

El paciente Charles Darwin

Legado y trascendencia de las ideas evolutivas de Charles Darwin

Periodo libre de heladas para el Estado de Aguascalientes y su relación con El Niño

Factores determinantes de la calidad de los servicios bancarios en un campus universitario venezolano

Definición de la aptitud de agua para riego en un agroecosistema del Sur de la provincia de Córdoba, Argentina



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

DIRECCIÓN GENERAL
DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Departamento de Apoyo
a la Investigación

DIRECTORIO

M. en C. RAFAEL URZÚA MACÍAS
Rector

LIC. ERNESTINA LEÓN RODRÍGUEZ
Secretario General

DR. FRANCISCO JAVIER AVELAR GONZÁLEZ
Director General de Investigación y Posgrado

M. en C. MARIO ALEJANDRO LÓPEZ GUTIÉRREZ
Decano del Centro de Ciencias Agropecuarias

DR. FRANCISCO JAVIER ÁLVAREZ RODRÍGUEZ
Decano del Centro de Ciencias Básicas

DR. ARMANDO SANTACRUZ TORRES
Decano del Centro de Ciencias Biomédicas

M. en A. MARIO ANDRADE CERVANTES
Decano del Centro de Ciencias del Diseño
y de la Construcción

DRA. MA. DEL CARMEN MARTÍNEZ SERNA
Decana del Centro de Ciencias Económicas
y Administrativas

DR. DANIEL GUTIÉRREZ CASTORENA
Decano del Centro de Ciencias Sociales
y Humanidades

CONSEJO EDITOR DE LA REVISTA

- Dr. Luis Miguel García Segura
INSTITUTO CAJAL
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC), 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 (CSIC), MADRID, ESPAÑA
- Dr. Francisco Cervantes Pérez
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO Y COORDINACIÓN DE
UNIVERSIDAD ABIERTA Y EDUCACIÓN A DISTANCIA
- Dr. José Luis Reyes Sánchez
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL (IPN)
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
DEPTO. DE FISIOLÓGIA, BIOFÍSICA Y NEUROCIENCIAS
- Dr. Alfredo Feria Velasco
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA (U. de G.)
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES
- Dr. Philippe Poujeol
UNIVERSIDAD DE NIZA-SOPHIA, ANTIPOLIS FRANCESA
LABORATORIO DE FISIOLÓGIA CELULAR Y MOLECULAR

COMITÉ EDITORIAL EN ESTE NÚMERO

- Dra. Ivonne Abud Urbola
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY (ITESM)
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
- Dr. J. B. Mauricio Alcocer Ruthling
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA (UAG)
CENTRO DE ENERGÍA RENOVABLE
- Dra. Thalía Castro Barrera
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA (UAM)
UNIDAD UNIVERSITARIA XOCHIMILCO
- Dr. J. Alejandro Espinosa de los Monteros Solís
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C. (INECOL)
BIOLOGÍA EVOLUTIVA
- Dra. Bertha Espinoza Gutiérrez
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMÉDICAS
- Dr. Ismael Ferrusquía Villafranca
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)
INSTITUTO DE GEOLOGÍA
- Dr. Leandro García González
UNIVERSIDAD VERACRUZANA (UV)
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MICRO Y NANOTECNOLOGÍA (MICRONA)
- Dr. Armando García Ortega
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C. (CIAD)
UNIDAD MAZATLÁN
- Dr. Fernando Jaramillo Juárez
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES (UAA)
CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS
- Dr. Eduardo Jiménez Hídalgo
UNIVERSIDAD DEL MAR (UMAR)
INSTITUTO DE RECURSOS
- Dr. Francisco J. López Antuñano
INSTITUTO NACIONAL DE SALUD PÚBLICA (INSP)
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN SALUD Poblacional
- Dra. Amalia Martínez García
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ÓPTICA (CIO)
INVESTIGACIÓN, METEOROLOGÍA ÓPTICA
- Dr. Ángel R. Meulener Peña
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA (U. de G.)
INSTITUTO DE ASTRONOMÍA Y METEOROLOGÍA (IAM)
- Dra. Layla Michan Aguirre
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)
FACULTAD DE CIENCIAS

- Dr. José Ángel Miguel Dávila
UNIVERSIDAD DE LEÓN (UNILEÓN)
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES
- Dra. Marisol Montellano Ballesteros
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)
INSTITUTO DE GEOLOGÍA
- Dr. Juan Moreno Klemming
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC)
MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES (MNCA)
- Dr. Jorge R. Mugni
CONSULTOR PRIVADO
- Dr. Stephen Muhl Saunders
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATEMÁTICAS (IIMAS)
- Dr. Marcelo Varni
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA DE LLANURAS (IHLLA)
HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

EDITOR

MTRA. ROSA DEL CARMEN ZAPATA

ASISTENTE

LIC. SANDRA MARGARITA RUIZ GUERRA

AÑO 17 • PERIODO: SEPTIEMBRE-DICIEMBRE 2009

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES. Publicación periódica, cuatrimestral, multidisciplinaria, editada y distribuida por la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Órgano de Comunicación y Difusión Científica. ISSN 1665-4412. Certificado de Reserva de Derechos al uso exclusivo, Núm. 04 2002 042412342500-102. Certificado de Licitud de Título Núm. 12284 y de Licitud de Contenido Núm. 8497 otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Tanto el diseño como la impresión son realizados en el Departamento de Procesos Gráficos de la Dirección General de Servicios de la UAA, diciembre de 2009.

Colaboración e informes:

Dirección General de Investigación y Posgrado
Departamento de Apoyo a la Investigación
Edificio 1B segundo piso
Av. Universidad núm. 940, C.P. 20100
Tel. 01 (449) 910-74-42, fax. 01 (449) 910-74-41
Aguascalientes, Ags.
<http://www.uaa.mx/investigacion/revista>
revistaiyc@correo.uaa.mx

Tiraje: 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.

Esta revista está citada en:

- PERIÓDICA** (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias) <http://www.dgb.unam.mx/periodica.html>
- Índice Internacional "Actualidad Iberoamericana"** ISSN 0717-3636. Centro de Información Tecnológica-CII, La Serrana, Chile. <http://www.citchile.cl>
- LATINDEX** (Sistema Regional de Información en línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal) <http://www.latindex.org>
- REDALYC** (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal) <http://www.redalyc.org>
- HELA** (Catálogo de Hemeroteca Latinoamericana) <http://www.dgb.unam.mx/hela.html>
- DOAJ** (Directory of open access journals) <http://www.doaj.org>

FOTOGRAFÍAS DE PORTADA:

• Hábitos alimenticios de los caballos *Dinohippus mexicanus* y *Neohipparion eurystyle* del Hemphiliano Tardío de Tecolotlán,

CONTENIDO

EDITORIAL

CIENCIAS AGROPECUARIAS

- **Nematodo de vida libre *Panagrellus redivivus* (Goodey, 1945): Una alternativa para la alimentación inicial de larvas de peces y crustáceos**

Jorge Luna Figueroa

Págs.

4-11

CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS

- **Periodo libre de heladas para el Estado de Aguascalientes y su relación con *El Niño***

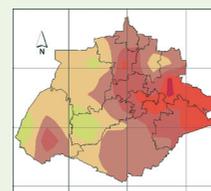
Domitilo Pereyra Díaz

Sergio Josué Beltrán Cruz

Mario Tiscareño López

José A. Agustín Pérez Sesma

12-23



- **Hábitos alimenticios de los caballos *Dinohippus mexicanus* y *Neohipparion eurystyle* del Hemphiliano Tardío de Tecolotlán, Jalisco, México**

Christian Raúl Barrón Ortiz

José Rubén Guzmán Gutiérrez

24-29



- **Legado y trascendencia de las ideas evolutivas de Charles Darwin**

Jorge Martínez Martínez

30-33



CIENCIAS MÉDICAS

- **El paciente Charles Darwin**

Luis Muñoz Fernández

34-37

INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS

- **Definición de la aptitud de agua para riego en un agroecosistema del Sur de la provincia de Córdoba, Argentina**

María Laura Gomez

38-43



- **Diseño y fabricación de un aparato para el depósito de películas delgadas por el método de rotación**

Iliana Ernestina Medina Ramírez

Luis Enrique Arámbula Miranda

Felipe Rizo Díaz

Alejandro Román Loera

44-49



CIENCIAS ECONÓMICAS, SOCIALES Y HUMANIDADES

- **Factores determinantes de la calidad de los servicios bancarios en un campus universitario venezolano**

Agustín Mejías Acosta

Dalimar Villegas

Ninoska Maneiro

50-55

EDITORIAL

EDITORIAL

En esta ocasión, *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes* publica el ejemplar no. 45 con el que se refleja su madurez, la cual también puede observarse a través de los reportes estadísticos de la *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal* (REDALYC), mismos que señalan, entre otros datos, que el promedio trimestral de consultas por artículo en la red en el 2009 fue de 70.48 demostrando su posicionamiento entre la comunidad científica. Cabe señalar que las consultas son realizadas principalmente por el país de origen, es decir, México. Asimismo, es consultada por países de América Latina, E.U., Canadá y Europa, logrando un índice de internacionalización del 56%.

Con el fin de contribuir al aumento de la visibilidad, el acceso y la difusión de la producción científica *Investigación y Ciencia* participa en la Declaración del Movimiento Internacional "Open Access", para lo cual pone a disposición los artículos publicados en archivos electrónicos mediante dos formas: a través de las bases de datos en las que está indizada como *Actualidad Iberoamericana*, HELA, LATINDEX, PERIÓDICA, REDALYC y el *Directory of Open Access Journals* (DOAJ) al que ingresó en enero de 2009 y en la página electrónica institucional <http://www.uaa.investigacion/revista>.

En este número se publican ocho artículos, dos de los cuales se unen a la celebración de los 200 años del natalicio de Charles Darwin, en donde en el primero de ellos se aborda el tema de su legado literario y en el segundo, el de sus padecimientos.

Además se presentan otros artículos con propuestas referentes a la acuicultura y los agrosistemas para definir prácticas de manejo sustentables. También un artículo propone un desarrollo tecnológico para el depósito de películas delgadas que acelera la velocidad permitiéndole al usuario su control. Del área de ciencias naturales en dos artículos se exponen resultados de una descripción sobre las heladas en el Estado de Aguascalientes y, por otra parte, a partir de una reconstrucción se dan a conocer los hábitos alimenticios de équidos fósiles encontrados en Tecolotlán, Jalisco. Finalmente, un artículo derivado de una investigación realizada en una Universidad Venezolana señala los factores que determinan la calidad de los servicios bancarios.

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes agradece a los autores sus contribuciones y continuará con su objetivo de difundir el conocimiento, por lo que reitera la invitación a los investigadores para que envíen sus artículos de investigación y/o difusión.

Nematodo de vida libre *Panagrellus redivivus* (Goodey, 1945): Una alternativa para la alimentación inicial de larvas de peces y crustáceos

Jorge Luna Figueroa ¹

RESUMEN

En este artículo se describe la importancia del nematodo *Panagrellus redivivus* como alimento inicial de larvas de peces y crustáceos. Se expone el por qué del uso de este microgusano como alimento vivo, y se enfatiza su alto valor nutritivo, el cual no difiere significativamente de otros utilizados en la acuicultura tales como: *Artemia* y los rotíferos. Se explican las razones del por qué el alimento vivo, utilizado como dieta inicial de larvas, es superior al alimento comercial, hecho que se manifiesta claramente en la tasa de crecimiento y sobrevivencia de los organismos nutridos con *P. redivivus*. Se mencionan los principales medios de cultivo empleados para la producción de este nematodo, caracterizándose por la efectividad y simplicidad del cultivo. Se discuten los efectos del suministro de *P. redivivus* sobre el crecimiento y sobrevivencia de diferentes especies de peces y crustáceos, obteniendo resultados satisfactorios. Finalmente, los microgusanos son una alternativa con un alto potencial como alimento vivo, principalmente, durante la alimentación inicial de larvas de peces y crustáceos.

Palabras clave: Nutrición, alimento vivo, larvas, peces, crustáceos, microgusano.

Key words: Nutrition, living food, larvae, fish, crustaceans, microworm.

Recibido: 16 de junio de 2009, aceptado: 24 de agosto de 2009

¹ Laboratorio de Acuicultura, Departamento de Hidrobiología, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, jlunaf_123@yahoo.com.mx., jluna@uaem.mx

ABSTRACT

The paper describes the importance of *Panagrellus redivivus* nematode as initial food for fish larvae and crustaceans. It explains why to use this microworm as living food in aquaculture, stressing its high nutritional value, which does not differ significantly from other live foods used widely in aquaculture; such as *Artemia* and rotifers. The reasons why the effect of living food is better, as first feeding larvae, than commercial food, is clearly manifested in the growth rate and survival of larvae nourished with *P. redivivus*. The main reasons for the use of culture means are mentioned for the production of this nematode, characterized of *P. redivivus* on growth and survival of different fish and crustaceans species are discussed, obtaining satisfactory results. Finally, the microworms are an alternative with a high potential as living food, mainly during the first feeding fish larvae and crustaceans.

Importancia de la nutrición larval

La nutrición de larvas de peces y crustáceos es uno de los problemas más grandes en el cultivo de organismos acuáticos, debido a que la mayoría de las larvas dependen principalmente de alimentos vivos, tales como rotíferos *Brachionus* spp. y *Artemia* sp., al inicio de su alimentación exógena (Santiago *et al.*, 2003; Santiago *et al.*, 2004; De Lara *et al.*, 2007). Sin embargo, el alto costo de los quistes de *Artemia* y en el caso de *Brachionus* sus requerimientos estrictos para obtener altas producciones son la principal limitante para su uso en acuicultura (Santiago *et al.*, 2003; Focken *et al.*, 2006). Asimismo, organismos como el microgusano *Panagrellus redivivus*, la pulga de agua *Daphnia pulex* y *Moina wierzejski*, el gusano de

fango *Tubifex tubifex*, gusano blanco *Enchytraeus albidus*, lombriz de tierra *Eisenia foetida*, larvas de mosquito *Culex pipiens* y *C. stigmatosoma*, gusano de sangre *Chironomus tentas* y microalgas *Chlorella minutissima*, *Chlorella regularis*, entre otros, son parte de la dieta de peces en granjas de producción, con lo cual se pretende cubrir las necesidades nutritivas y disminuir la mortalidad durante el proceso de alimentación endógena a exógena (Luna Figueroa, 2002).

El nematodo *P. redivivus* es una fuente importante de nutrientes para la alimentación inicial de larvas de peces y crustáceos (Schlechtriem *et al.*, 2002; Ricci *et al.*, 2003; Schlechtriem *et al.*, 2005; Focken *et al.*, 2006; Sautter *et al.*, 2007), al mismo tiempo de que aporta la posibilidad de sustituir parcial o totalmente a los alimentos vivos más utilizados en acuicultura.

Por otra parte, utilizar zooplancton de ambientes naturales, presenta algunos problemas de cantidad y calidad irregular e incrementa el riesgo de introducir parásitos dentro de los criaderos. Consecuentemente, el alimento artificial puede reemplazar al vivo. Sin embargo, el desarrollo de las larvas de peces se retarda, el crecimiento disminuye y la eficiencia de la transformación de energía y materia se reduce (Kamler, 1992). En contraparte, la alta mortalidad de las larvas de peces, a partir de su primer alimentación exógena, se reduce considerablemente utilizando alimento vivo (Schlechtriem *et al.*, 2004a) y acelera la diferenciación de estructuras morfológicas y de órganos internos, habilitándolos para pasar de manera segura este periodo vulnerable de sus vidas.

En la acuariofilia, el nematodo *P. redivivus* es muy importante como alimento vivo inicial, por reunir la calidad nutricional suficiente para estas especies (Santiago *et al.*, 2004). Sin embargo, en la acuicultura no ha sido usado de manera intensiva, debido a problemas que involucran su producción masiva, aunque recientemente han sido desarrollados procesos de producción experimental a mediana y gran escala. Esto es importante porque uno de los principales problemas en la acuicultura es la crianza de larvas de peces y crustáceos, etapa en la cual la tasa de mortalidad es muy alta (Lavens y Sorgeloos, 1996), debido a que la mayoría de las especies cultivadas dependen del alimento vivo durante su etapa larval (Sorgeloos *et al.*, 2001; Luna Figueroa, 2002; Schlechtriem *et al.*, 2004b). Por ello, considerando

que el periodo más crítico en el cultivo de peces es el inicio de la alimentación exógena, después de la absorción del saco vitelino, es que adquiere mayor importancia la utilización de alimento vivo para incrementar las tasas de crecimiento, reproductivas y de sobrevivencia (García-Ortega, 2000; Guillaume *et al.*, 2001). En estas etapas, el alimento vivo debería estar disponible, de fácil reproducción y económico (Watanabe y Kiron, 1994), para no limitar el éxito en la crianza larval, lo cual restringe la producción total en las granjas de cultivo (Guillaume *et al.*, 2001).

¿Qué es el microgusano *Panagrellus redivivus*?

Panagrellus redivivus es un nematodo de vida libre que preda sobre una variedad de microorganismos, por ejemplo, *Saccharomyces cerevisiae* (Ricci *et al.*, 2003). Son gusanos no segmentados, de color blanco a transparente; de tamaño muy pequeño, menores de 1.5 mm, aproximadamente 15 veces más largos que su ancho, cerca de 50 µm de diámetro y presentan movimiento continuo. Incrementa su tamaño tres veces durante el primer día y de cinco a seis veces durante los siguientes tres días. El extremo de la cola es puntiagudo y el de la boca redondeado. A causa de su forma y tamaño, pueden ser parte de la dieta de peces muy pequeños (Rottmann, 2002; Schlechtriem *et al.*, 2002). Los machos tienen la cola curvada, son más pequeños, más esbeltos y menos numerosos que las hembras. Se reproducen sexualmente y presentan altas tasas reproductivas (Santiago *et al.*, 2003). Son ovovivíparos, liberan de 10 a 40 crías en un periodo de 24 a 36 h durante los 20 a 25 días que dura su ciclo de vida. Por lo tanto, se considera que cada hembra produce aproximadamente 300 crías durante su etapa reproductiva. Las crías alcanzan la madurez sexual a los tres días de vida. Otra ventaja consiste en su resistencia a permanecer vivos al menos unas 12 h en agua dulce.

¿Por qué el alimento vivo es superior al artificial como dieta inicial de larvas de peces y crustáceos?

Un factor de gran importancia en la acuicultura es la nutrición (Schlechtriem *et al.*, 2004a). Frecuentemente, los alimentos comerciales no contienen los nutrientes que las especies requieren para un desarrollo óptimo, principalmente en su primer etapa de vida, que es la crítica en todas las especies, por presentar la mayor mortalidad (Castro *et al.*, 2003). En este sentido, el alimento vivo

no sólo es estimado por ser un nutrimento fisiológicamente valioso, sino por ser un factor conductual importante en la dieta de peces. Asimismo, constituyen una "cápsula" nutritiva que contiene los elementos básicos de una dieta balanceada, con la ventaja de que conservan su valor hasta ser consumidos por los organismos acuáticos. Por lo que, en términos generales, se considera que el alimento vivo es mejor que el artificial como dieta de larvas de peces y crustáceos. Las principales hipótesis de esta teoría surgen por el hecho de inducir estímulos visuales y químicos, a que las enzimas presentes en los organismos vivos contribuyen a la digestión del alimento y a que existen diferencias en la digestibilidad entre los alimentos vivos y los artificiales, las cuales son atribuidas a diferencias en la digestibilidad de la proteína (García-Ortega, 2000).

Calidad nutritiva del microgusano *P. redivivus*

La composición nutritiva de *P. redivivus* está influenciada por el medio de cultivo utilizado para su producción, la cual puede ser mejorada por adición de aceite de pescado para incrementar el contenido de ácidos grasos altamente insaturados (Rouse *et al.*, 1992; Kumlu *et al.*, 1998;

Schlechtriem *et al.*, 2004 a y b). Esto explicaría las diferencias en el contenido de proteínas y lípidos reportados para *P. redivivus* (Tabla 1). En términos generales, los microgusanos son 76% agua y 24% materia seca; 40% de la materia seca es proteína y 20% es grasa, el 40% restante corresponde a extracto libre de nitrógeno y a otros micronutrientes (Rottmann, 2002).

El perfil nutricional de *P. redivivus* es alto y comparable con el de *Artemia* (Kumlu *et al.*, 1998; Schlechtriem *et al.*, 2002; Santiago *et al.*, 2003). La composición de aminoácidos también es similar a la de *Artemia*, aunque *P. redivivus* carece de ácido eicosapentaenoico (EPA), y ni los microgusanos ni *Artemia* contienen altos niveles de ácido docosahexaenoico (DHA), los cuales son esenciales para las larvas de peneidos (Kumlu *et al.*, 1998). El contenido de ácidos grasos de *P. redivivus* ha sido mejorado utilizando un medio de cultivo que contenga harina de trigo con aceite de pescado (Rouse *et al.*, 1992). Además, la suplementación de EPA y DHA, junto con antioxantinas, permite a los microgusanos ser usados como dieta única para el cultivo de larvas de *P. indicus* (Kumlu *et al.*, 1998). Prácticamente es posible diseñar la composición química de los microgusa-

Tabla 1. Valor nutritivo del microgusano *Panagrellus redivivus* procedente de diferentes fuentes bibliográficas. Datos expresados en porcentaje. * Miligramos. Datos no reportados (-----).

Proteína, %	Lípidos, %	Carbohidratos, %	Ácidos grasos, %	Fuente bibliográfica
52.0	13.0	15.4	-----	Kahan y Appel, 1975
48.3	17.3	31.3	-----	Biedenbach <i>et al.</i> , 1989
* 543 ± 34 a 757 ± 18 mg g ⁻¹	166 ± 26 a 209 ± 30 mg g ⁻¹	-----	La serie ω-3 de los ácidos grasos altamente insaturados puede no ser suficiente para promover el crecimiento y sobrevivencia de <i>P. indicus</i> .	Kumlu <i>et al.</i> , 1998
40.0	20.0	-----	-----	Rottmann, 2002
38.8	23.7	28.9	El total de ácidos grasos n-6 fue mucho más alto que el total n-3.	Santiago <i>et al.</i> , 2003
38.7	24.1	28.6	-----	Santiago <i>et al.</i> , 2004
38.6	39.8	18.2	-----	Schlechtriem <i>et al.</i> , 2005
62.0	24.0	17.0	-----	Figueroa <i>et al.</i> , 2006
60.6	24.7 a 26.9	-----	El medio de cultivo con avena y trigo puede tener muy bajos niveles de ácidos DHA (22:6n-3) y EPA (20:5n-3).	Sautter <i>et al.</i> , 2007

nos mediante la adición de nutrientes específicos al medio de cultivo, mismos que son necesarios para cubrir los requerimientos fisiológicos de las larvas de peces o de crustáceos para estimular el crecimiento y la sobrevivencia (Schlechtriem *et al.*, 2004b).

En larvas de peneidos, *P. redivivus* ofrece ventajas prácticas sobre *Artemia*, ejemplo de ello es que no consumen algas, pueden sobrevivir más de 72 h en agua salada y no crecer demasiado grandes como para no poder ser consumidos (Biedenbach *et al.*, 1989). Sin embargo, una desventaja es que la fracción de ácidos grasos altamente insaturados, particularmente la serie ω 3, podría no ser suficiente para promover un buen crecimiento y sobrevivencia en *Penaeus indicus* (Kumlu *et al.*, 1998). Por lo que el enriquecimiento de lípidos con aceite de pescado incrementa significativamente la serie ω 3 de los ácidos grasos, los cuales pueden ser manipulados utilizando diferentes medios de cultivo (Kumlu *et al.*, 1998).

Efecto de *P. redivivus* como alimento vivo de larvas de peces y crustáceos

A pesar de que varios estudios recomiendan la utilización de *P. redivivus* como primer alimento exógeno en la larvicultura de peces (Kumlu *et al.*, 1998; Rottmann, 2002; Ricci *et al.*, 2003; Santiago *et al.*, 2003; Schlechtriem *et al.*, 2004a; Schlechtriem *et al.*, 2004b; Focken *et al.*, 2006; Sautter *et al.*, 2007), esta especie no ha sido empleada intensivamente debido a problemas con su producción. No obstante, los peces alimentados con microgusano crecen mejor que los sustentados con dietas secas, pero más lentamente que los nutridos con otros alimentos vivos como *Artemia* o rotíferos (Santiago *et al.*, 2003; Sautter *et al.*, 2007). Al respecto, Focken *et al.* (2006) mencionan que un nauplio de *Artemia* provee proteína al pez equivalente a aproximadamente 23 microgusanos. Sin embargo, esto no es una limitante debido a la posibilidad de enriquecer a *P. redivivus* con aminoácidos y ácidos grasos esenciales (Rouse *et al.*, 1992; Schlechtriem *et al.*, 2004b).

Respecto a la sobrevivencia, Schlechtriem *et al.* (2004a) obtuvieron altas tasas (84.3 a 90.1%) en larvas de *Cyprinus carpio* alimentadas con *P. redivivus* y casi el doble de su masa corporal. Por otra parte, en larvas de *P. indicus* nutridas con *P. redivivus* enriquecidos con lípidos, la sobrevivencia fue 69-77% y con nematodos no enriquecidos

54% (Kumlu *et al.*, 1998). Esto indica que los elevados niveles de ácidos grasos altamente insaturados de los nematodos se reflejan en altas tasas de sobrevivencia de los organismos alimentados. En larvas de carpa cabezona, *Aristichthys nobilis*, alimentadas con *P. redivivus* la sobrevivencia fue de 61.8 a 81.3% y en larvas de bagre asiático *Clarias macrocephalus* de 35.3 a 37.7% (Santiago *et al.*, 2003; Santiago *et al.*, 2004). Consecuentemente, es necesario considerar que la aplicación de *P. redivivus* en la dieta de larvas se restringe precisamente a esa etapa de desarrollo, por lo que es indispensable tener en cuenta que, cubierto ese proceso de alimentación se requerirá otro alimento vivo o de diferente tipo para cubrir las necesidades nutricionales de los especímenes en cultivo.

Potencial como alimento vivo de *P. redivivus*

El potencial de *Panagrellus* sp. como alimento ha sido demostrado ampliamente en peces de ornato (Kahan y Appel, 1975; Hofsten *et al.*, 1983), en algunas especies de carpas (Hofsten *et al.*, 1983; Rottmann *et al.*, 1991; Santiago *et al.*, 2003), en bagres (Laron *et al.*, 2001) y en camarones (Biedenbach *et al.*, 1989; Kumlu y Fletcher, 1997; Kumlu *et al.*, 1998). Sin embargo, las larvas alimentadas con *P. redivivus* muestran un desarrollo moderado comparado con las nutridas con *Artemia* como primer alimento exógeno (Schlechtriem *et al.*, 2005). Esto se podría explicar debido a que las larvas de peces presentan un tracto digestivo poco desarrollado morfológica y fisiológicamente (Dabrowski, 1984; Govoni *et al.*, 1986) provocando una capacidad reducida para digerir a los microgusanos que tienen una cutícula compuesta de diferentes capas. Por otra parte, la alta aceptación de *P. redivivus* por larvas de diferentes especies de peces y crustáceos, así como la temprana digestión y positiva retención de nutrientes, confirman el potencial como primer alimento larval (Schlechtriem *et al.*, 2005). No obstante, se requiere de una investigación más amplia para evaluar la asimilación de las larvas alimentadas con microgusanos. Aunque aceptables para estudios de asimilación, los microgusanos, en algunos casos, suelen contener nutrientes en proporciones y cantidades sub-óptimas para cubrir los requerimientos de las larvas de peces (Schlechtriem *et al.*, 2005) sin embargo, esto podría ser fácilmente solucionado al enriquecer el medio de cultivo.

Medios de cultivo de *P. redivivus*

La carencia de tecnología para la producción masiva de nematodos ha sido el principal factor limitante para su aplicación comercial (Fisher y Fletcher, 1995). El desarrollo de una tecnología de cultivo para *P. redivivus* es un gran paso para obtener un alimento barato y permanentemente disponible para cubrir los requerimientos nutritivos iniciales de larvas de peces y crustáceos y, por lo tanto, para el desarrollo de una acuicultura sustentable (Biedenbach *et al.*, 1989; Schlechtriem *et al.*, 2002).

Actualmente, el cultivo de *P. redivivus* en bolsas de plástico es una tecnología aceptable para la producción masiva de este nematodo. Generalmente son producidos en medios de cultivo baratos y su valor nutricional es modificado llenando su canal alimentario con ácidos grasos altamente insaturados (HUFAs) (Rouse *et al.*, 1992) y con carotenoides (Kumlu, 1995). Los medios de cultivo probados han inducido consistentemente altas tasas de producción, mismas que han alcanzado alrededor de 400 millones de nematodos kg^{-1} medio de cultivo (Schlechtriem *et al.*, 2004a). Los principales medios de cultivo de *P. redivivus* se basan en hojuelas de avena húmedas, enriquecidas con alga *Spirulina* y/o aceite de girasol; harina de trigo húmeda, con levadura de pan y/o aceite de pescado y/o maíz; yogurt natural (Tabla 2).

Una técnica sencilla para el cultivo de *P. redivivus* empleada en el Laboratorio de Acuicultura del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos consiste en utilizar hojuelas de avena (100 g) previamente humedecidas (100 ml H_2O), colocadas en el fondo de un recipiente de plástico (20 x 15 x 5 cm). La tapa del recipiente debe contar con pequeños orificios que permitan el intercambio de gases. La temperatura ambiente oscila entre 26 y 28 °C con humedad constante. Una vez es-

tablecido el medio de cultivo debe adicionarse una pequeña cantidad de microgusanos (2 g). Transcurridos de cuatro a cinco días se observan manchas blancas en las paredes del recipiente, al mirarlas a contra luz se aprecia el movimiento del microgusano. Se recolectan pasando un pin-cel o una pequeña espátula por las paredes del recipiente y se colocan en un vaso con agua o suministrados directamente a las larvas peces. Al cabo de tres o cuatro semanas los cultivos empiezan a desprender un olor desagradable similar al vinagre, en este momento, habrá que renovar el cultivo antes de que el número de gusanos disminuya. Es recomendable tener un cultivo alterno preparado con una semana de diferencia para evitar que los cultivos decaigan simultáneamente.

Perspectivas de *P. redivivus*

P. redivivus constituye una alternativa nutricional y económica viable como alimento inicial de larvas de peces y crustáceos y un posible sustituto parcial de los nauplios de *Artemia* y de rotíferos. Entre sus principales características se encuentran: La alta disponibilidad, alto valor nutritivo, tallas variables y movilidad. Constatada la aceptación como alimento en la etapa larval de peces y crustáceos, cotejada mediante la acelerada tasa de crecimiento y alta tasa de sobrevivencia de los organismos alimentados con *P. redivivus*. No obstante, Schlechtriem *et al.* (2005) afirman que, aunque digeribles para peces adultos, la posible resistencia de los nematodos a la digestión larval, provocada por la cutícula que cubre su cuerpo, constituida principalmente de colágeno (Castro *et al.*, 2001; De Lara *et al.*, 2003), limitaría su uso como alimento vivo inicial. Por lo que, a pesar de sus cualidades, los microgusanos aún no han sido probados en muchas especies, consecuentemente, es requerida mayor investigación científica que involucre a *P. redivivus* como dieta inicial de organismos acuáticos con alto potencial económico.

Tabla 2. Características del medio de cultivo del microgusano *P. redivivus* como alimento inicial para larvas de peces y crustáceos utilizados por diferentes autores.

Medio de cultivo Ingredientes	Materiales	Siembra	Observaciones	Fuente bibliográfica
50 g de harina de trigo, 50-60 ml H ₂ O. 5 g de levadura de pan en 65 ml H ₂ O, añadir al medio 5ml cada siete días. 15 g de yema de huevo de pollo con 60 ml de aceite de hígado de bacalao y 10 ml vertidos al medio cada siete días.	Contenedores plásticos con un área de 100 cm ²	30,000 nemátodos	Incremento del contenido de ácidos grasos de <i>P. redivivus</i> , con tres medios de cultivo. Mantenidos a 20-24 °C. Alimento para larvas de peces y crustáceos.	Rouse <i>et al.</i> , 1992
Medio de cultivo monoxénico. Medios de cultivo basados en avena, trigo, arroz, soya.	Diferentes contenedores; bolsas y cajas de plástico de diferente medida	Medio de cultivo estéril inoculado con <i>P. redivivus</i> y microorganismos (No se especifica cantidad).	Es posible modificar la composición química de acuerdo a los requerimientos nutricionales de las larvas de peces. 400 millones de nematodos por kg de medio de cultivo.	Schlechtriem <i>et al.</i> , 2002
Cereales en grano; avena, trigo, maíz, levadura y agua, hervidos de cinco a siete minutos.	Contenedores de plástico 20 x 30 cm, con la tapa perforada para permitir intercambio de gases	Colocar suficiente microgusano en la superficie del medio de cultivo (10 g).	Mantener en un cuarto bien iluminado a 20-30 °C. Estos recipientes proveerán de 1 a 1½ cucharas soperas diarias durante tres semanas. Alimento inicial para larvas de peces.	Rottmann, 2002
<i>P. redivivus</i> fue asociado monoxenicamente con <i>S. cerevisiae</i> .	Bolsas de plástico de 50 x 30 cm con 1500 g medio/bolsa y bolsas de 75 x 67 cm con 4500 g medio/bolsa.	3500 nematodos/g. 350 nematodos/g medio.	El cultivo en bolsas parece ser una tecnología aceptable para la producción masiva de <i>P. redivivus</i> . Alimento para larvas crustáceos y peces.	Ricci <i>et al.</i> , 2003
Medio de cultivo monoxénico con <i>S. cerevisiae</i> y enriquecido con aceite de girasol (<i>Helianthus annuus</i>) o aceite de pescado.	Bolsas de plástico 50 x 30 cm.	<i>P. redivivus</i> cultivo masivo. No se indica cantidad de microgusanos sembrados.	Utilizados para alimentar larvas de <i>C. carpio</i> .	Schlechtriem <i>et al.</i> , 2004
Harina de avena (130 g), agua (260 ml). Levadura de pan <i>S. cerevisiae</i> (0.136 g en 15 ml de agua estéril).	Cajas Petri, 90 mm de diámetro.	200 nematodos <i>P. redivivus</i> .	Cultivo en condiciones de laboratorio. Cosecha a los siete-ocho días de inicio. Alimento para larvas de <i>A. nobilis</i> y <i>C. macrocephalus</i> .	Santiago <i>et al.</i> , 2004
Una mezcla de harina de trigo y maíz (50/50%) y otro 100% de avena. Las harinas se mezclaron con 0.8% de solución de sal marina y esponjas desmenuzadas de polyether polyurethano (75 g).	Bolsas de plástico 50 x 30 cm.	55 x 10 ⁵ organismos de <i>P. redivivus</i> .	El cultivo fue incubado durante 12 días en un cuarto climáticamente controlado a 22°C. Alimento inicial para larvas de <i>L. vannamei</i> .	Focken <i>et al.</i> , 2006
Hojuelas de avena 100 g y agua. Humedecer y distribuir uniformemente en el recipiente.	Recipientes plásticos de 14 x 10 x 3 cm. con cubierta perforada.	0.5 g peso húmedo de nematodos.	Cuarto bien iluminado. Temperatura ambiente entre 24 y 25°C. Revisar humedad del medio de cultivo cada tercer día. Alimento para larvas de peces y crustáceos.	Figuroa <i>et al.</i> , 2006
Hojuelas de avena comercial (200 g), <i>Spirulina</i> sp. en polvo (5 g) y agua purificada (300 ml).	Recipientes plásticos de 15 x 15 x 5 cm.	5 g de <i>P. redivivus</i> .	Duración del cultivo nueve semanas. Temperatura ambiente entre 19 y 22°C. pH entre 2.6 y 3.2. Alimento inicial para larvas de peces.	De Lara <i>et al.</i> , 2007

REFERENCIAS

- BIEDENBACH, J. M., *et al.*, Use of the nematodes *Panagrellus redivivus* as an *Artemia* replacement in a larval penaeid diet. *Journal of the World Aquaculture Society*, 20 (2): 61-71, 1989.
- CASTRO, M.G., *et al.*, *Técnicas de cultivo de especies planctónicas e invertebrados útiles para la acuicultura*. Serie Académicos CBS: Universidad Autónoma Metropolitana, 65 pp. 2001.
- CASTRO, B. T., *et al.*, Alimento vivo en la acuicultura. *Contactos*, 48: 27-33, 2003.
- DABROWSKI, K. The feeding of fish larvae: present "state of the art" and perspectives. *Reproduction Nutrition Development*, 24: 807-833, 1984.
- DE LARA, R., MALPICA, S. A. y CASTRO, M. J. Microgusanos (*Panagrellus redivivus*), en: CASTRO, B.T. *Alimento vivo para organismos acuáticos*. AGT Editor, 129 pp. 2003.
- DE LARA, R., *et al.*, Cultivo del nemátodo *Panagrellus redivivus* (Goodey, 1945) en un medio de avena enriquecida con *Spirulina* sp. *Biología Marina y Oceanografía*, 42 (1): 29-36, 2007.
- FIGUEROA, T. J., SORIANO, S. M. y LUNA FIGUEROA, J. El microgusano *Panagrellus redivivus* en la dieta de larvas de peces. *Hypatia*, 19 (5): 10-11, 2006.
- FISHER, C. M. I. and FLETCHER, D. J. Novel feeds for use in aquaculture. Patent. International Application number. AO1K67/033, A23K1/18, 1995.
- FOCKEN, U., *et al.*, *Panagrellus redivivus* mass produced on solid media as live food for *Litopenaeus vannamei* larvae. *Aquaculture Research*, 37: 1429-1436, 2006.
- GARCÍA-ORTEGA, A. Valor nutricional de los quistes de *Artemia* y su uso como fuente de proteína en dietas artificiales para larvas de peces, en: CRUZ-SUÁREZ, L.E., *et al.*, *Avances en Nutrición Acuicola*, Mérida Yucatán, México, 2000.
- GOVONI, J. J., BOEHLERT, G. W. and WATANABE, Y. The physiology of digestion in fish larvae. *Environmental Biology of Fish*, 16: 59-77, 1986.
- GUILLAUME, J., *et al.*, *Nutrition and feeding of fish and crustaceans*. Springer Praxis: Chichester, Great Britain, 408 pp. 2001.
- HOFSTEN, A.V., *et al.*, Digestion of free-living nematodes fed to fish. *J. Fish. Biol.*, 23: 419-428, 1983.
- KAHAN, D. and APPEL, Z. The value of *Panagrellus* sp. (Nematoda) as food for fish. *The European Symposium on Marine Biology* (Ostend, Belgium, September 17-23, 1975). 1; 243-253, 1975.
- KAMLER, E. *Early Life History of Fish*. Chapman and Hall: London, UK, 267 pp. 1992.
- KUMLU, M. *Physiology of decapod crustacean larvae with special reference to diet*. Ph. D. thesis. Univ. Wales: Bangor, UK, 1995.
- KUMLU, M. and FLETCHER, D. J. The nematode *Panagrellus redivivus* as an alternative live feed for larval *Penaeus indicus*. *Israel J. Aquacult.*, 49: 12-18, 1997.
- KUMLU, M., FLETCHER, D. J. and FISHER, C. M. Larval pigmentation, survival and growth of *Penaeus indicus* fed the nematode *Panagrellus redivivus* enriched with astaxanthin and various lipids. *Aquaculture Nutrition*, 4: 193-200, 1998.
- LARON, M., *et al.*, Evaluation of the different live food organisms on growth and survival of river catfish, *Mystus nemurus* (C. & V.) larvae. In: *Larvi 2001 – Fish and Shellfish Larviculture Symposium*. C.I. HENDRY, *et al.*, (Eds). Eur. Aquacult. Soc. Spec: Ostende, Belgium, 30: 299-302, 2001.
- LAVENS, P. and SORGELOOS, P. Manual on the production and use of live food for aquaculture. *Fisheries Technical Paper* (361). FAO: Rome, Italy, 1996.
- LUNA FIGUEROA, J. Alimento vivo: Importancia y valor nutritivo. *Ciencia y Desarrollo*, 166: 70-77, 2002.
- RICCI, M., *et al.*, Development of a low-cost technology for mass production of the free-living nematode *Panagrellus redivivus* as an alternative live food for first feeding fish larvae. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 60: 556-559, 2003.
- ROTTMANN, R. W., SHIREMAN, J. V. and LINCOLN, E. P. Comparison of three live foods and two dry diets for intensive culture of grass carp and bighead carp larvae. *Aquaculture*, 96: 269-280, 1991.
- ROTTMANN, R. W. Microworm culture for aquarium fish producers. University of Florida. 1-3, 2002.
- ROUSE, D. B., WEBSTER, C. D. and RADWIN, I. A. Enhancement of the fatty acid composition of the nematode *Panagrellus redivivus* using three different media. *J. World Aquacult. Soc.*, 23 (1): 89-95, 1992.
- SANTIAGO, C. B., *et al.*, Response of bighead carp *Aristichthys nobilis* and Asian catfish *Clarias macrocephalus* larvae to free-living nematode *Panagrellus redivivus* as alternative feed. *J. Appl. Ichthyol*, 19: 239-243, 2003.

- SANTIAGO, C. B., RICCI, M. and REYES-LAMPA, A. Effect of nematode *Panagrellus redivivus* density on growth, survival, feed consumption and carcass composition of bighead carp *Aristichthys nobilis* (Richardson) larvae. *J. Appl. Ichthyol.*, 20: 22-27, 2004.
- SAUTTER, J., et al., *Panagrellus redivivus* (Linné) as a live food organism in the early rearing of the catfish *Synodontis petricola* (Matthes). *Aquaculture Research*, 38: 653-659, 2007.
- SCHLECHTRIEM, C., et al., A new technology for the mass production of the free-living nematode *Panagrellus redivivus*, an alternative live food for first feeding fish larvae: a contribution to the improvement of sustainable seed supply for aquaculture. *International Symposium Sustaining Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia. Challenges for the 21st Century*. January 8-11, 2002 at Chiang Mai, Thailand, 2002.
- SCHLECHTRIEM, C., et al., Mass produced nematodes *Panagrellus redivivus* as live food for rearing carp larvae: preliminary results. *Aquaculture Research*, 35: 547-551, 2004a.
- SCHLECHTRIEM, C. et al., The suitability of the free-living nematode *Panagrellus redivivus* as live food for first-feeding fish larvae. *J. Appl. Ichthyol.*, 20: 161-168, 2004b.
- SCHLECHTRIEM, C., FOCKEN, U. and BECKER, K. Digestion and assimilation of the free-living nematode *Panagrellus redivivus* fed to first feeding coregonid larvae: evidence from histological and isotopic studies. *Journal of the World Aquaculture Society*, 36 (1): 24-31, 2005.
- SORGELOOS, P., DHERT, P. and CANDREVA, P. Use of the brine shrimp *Artemia* spp. in marine fish larviculture. *Aquaculture*, 200: 147-149, 2001.
- WATANABE, T. and KIRON, V. Review – prospects in larval nutrition. *Aquaculture*, 124: 223-251, 1994.

Periodo libre de heladas para el Estado de Aguascalientes y su relación con *El Niño*

Domitilo Pereyra Díaz ¹, Sergio Josué Beltrán Cruz ², Mario Tiscareño López ²,
José A. Agustín Pérez Sesma ¹

RESUMEN

Este estudio se realizó para el Estado de Aguascalientes con el objetivo de conocer el Periodo Libre de Heladas (PLH), la probabilidad de ocurrencia y su posible relación con los eventos de *El Niño* con categoría fuerte. Con el uso del análisis estadístico se obtuvo el promedio mensual de días con heladas para los años de *El Niño* fuerte, así como el periodo libre de heladas para estos años. Los resultados indican que el periodo de heladas inicia en octubre y termina en abril. En cuanto a la distribución espacial, las heladas se presentan, primero en la parte centro-sur del Estado y, con el transcurso del tiempo, se presentan en todo el Estado durante los meses de noviembre a febrero. En cuanto al efecto de *El Niño* se encontró que éste genera un aumento en la frecuencia de heladas en el Estado de hasta un 80% en algunos lugares.

ABSTRACT

This study was realized with the purpose of knowing the Free Period of Frosts (FPF) for the state of Aguascalientes, the probability of occurrence and its possible relation with the strong events of

Palabras claves: Periodo libre de heladas, primeras heladas, última helada, *El Niño*, temperatura del aire, Aguascalientes.

Key words: Free period of frosts, first frost, last frost, *El Niño*, air temperature, Aguascalientes.

Recibido: 27 de marzo de 2009, aceptado: 5 de junio de 2009

¹ Licenciatura en Ciencias Atmosféricas de la Universidad Veracruzana, dpereyra@uv.mx.

² AgroClima Informática Avanzada, S.A. de C.V., mario.tiscareño@agroclima.com.mx

the phenomenon *El Niño*. Using the statistic analysis, the monthly average of days with frosts was obtained for the years when the Strong phenomenon *El Niño* occurs, as well as the free period of frosts for these years. The results indicated that the period of occurrence of frosts begins in the month of october, in the region located in the center-south of the state, and ends in the month of april, and in all the state during the period from november to february. Finally, it was found that the occurrence of frosts is increased when the events of the strong phenomenon *El Niño* appears, up to 80% in some places.

INTRODUCCIÓN

La presencia de bajas temperaturas y la irregularidad de las mismas, durante el invierno en regiones templadas, es uno de los mayores problemas que enfrentan los agricultores con relación a sus cosechas, principalmente en donde se producen cultivos susceptibles a bajas temperaturas (Romo y Arteaga, 1989). Referente a las bajas temperaturas Gibbs (2009) describe tres tipos de heladas: a) helada de aire, b) helada de suelo y c) helada de escarcha. La "helada de aire" es cuando la temperatura del aire, observada en el abrigo meteorológico (a 1.5 m sobre el suelo), alcanza el 0 °C; pero, en este caso, el suelo puede permanecer por encima de la temperatura de congelación; esto suele ocurrir a principios de otoño, cuando el suelo aún conserva parte de su calor de verano. Normalmente, la temperatura del suelo va a ser más fría. La "helada de suelo" es cuando la temperatura del suelo alcanza el 0 °C, sólo que en este caso, la temperatura del aire puede estar a 3 o 4 °C por arriba de la temperatura de congelamiento. Por otro lado, los cristales blancos vistos en el césped, en una mañana fría,

no indican que se trata de una helada de aire ni de una helada de suelo, a este fenómeno se le conoce como "helada blanca o escarcha". Esta escarcha se forma cuando el aire se enfría y el agua se condensa sobre el césped, muy diferente al rocío congelado. Éste parece gotas de agua congelada y la escarcha es una estructura de hielo esponjosa y frágil. En cuanto a la severidad de las heladas, éstas se clasifican en cuatro: a) **ligeras**, cuando la temperatura varía entre 0 °C y -3.5 °C, b) **moderadas**; cuando la temperatura varía entre -3.5 °C y -6.5 °C, c) **severas**; cuando la temperatura varía entre -6.5 °C y -11.5 °C, y d) **muy severas**, cuando la temperatura es menor a -11.5 °C (Gibbs, 2009). Los factores que favorecen las heladas son el vapor de agua, el suelo y la vegetación, el viento, la topografía y la nubosidad.

Dependiendo de la época del año en que se presentan las heladas, éstas se clasifican en **primaverales**, **otoñales** e **invernales** (Romo y Arteaga, 1989; Pereyra *et al.*, 1990): **a) Heladas primaverales**: Son aquellas que se presentan en abril y hasta principios de mayo. Son muy peligrosas para los cultivos ya que en los frutales puede matar las partes reproductivas y, en los cultivos anuales, puede inhibir el crecimiento o matar a las plantas. Las heladas tardías son las más peligrosas por la época en que se presentan, que es cuando ya están los cultivos del ciclo primavera-verano y los árboles caducifolios presentan fenologías sensibles a descensos de temperatura. **b) Heladas otoñales**: Son aquellas que se presentan antes del invierno, en septiembre y a principios de octubre. No son buenas para los cultivos de primavera-verano, porque todavía no se ha completado la cosecha ni han entrado en latencia. **c) Heladas invernales**: Son aquellas que se presentan de noviembre a febrero. Son buenas para los árboles frutales porque éstos entran en dormancia, acumulando el frío necesario para la floración y también para los cultivos anuales de invierno como la alfalfa, el trigo, etc.

Por su proceso de formación las heladas pueden ser: por **radiación**, **advección** y **evaporación** (Romo y Arteaga, 1989; Pereyra *et al.*, 1990). **a) Heladas por radiación**: Se presentan por la pérdida excesiva de calor del suelo, durante las noches despejadas con aire de poca humedad. En este caso, el relieve, por sus diversos accidentes, determina la dirección e intensidad del flujo de aire frío nocturno. Si el suelo tiene pendiente, el aire frío (más denso) buscará niveles más bajos, donde se estacionará y continuará enfrián-

dose; es por ello que el fondo de los valles es un lugar propicio para la formación de heladas. **b) Heladas por advección**: Son aquellas que se presentan por el desplazamiento de masas de aire polar, acompañadas de fuertes vientos, que a su paso generan descenso de la temperatura. Son muy peligrosas porque algunos años se presentan durante los meses de abril y mayo, cuando las plantas están en pleno desarrollo. **c) Heladas por evaporación**: Se presentan cuando el agua, retenida en el follaje de las plantas, se evapora con mucha rapidez, hecho que origina que la temperatura de ésta descienda notablemente. La evaporación rápida de la escarcha o del rocío a la salida del sol puede ocasionar este tipo de helada, el daño va directo a los tejidos internos de la planta causándole la muerte. No son muy comunes en esta región. En cuanto al periodo libre de heladas, éste se considera como el tiempo que transcurre desde que se presentó la última helada de un periodo hasta la primera helada del periodo siguiente (Torres, 1995).

¿Qué es El Niño?

Varias han sido las denominaciones usadas para describir el calentamiento que experimentan las aguas del Pacífico tropical en la región Este. El término *El Niño*, el más aceptado, fue originalmente utilizado para caracterizar una corriente marina cálida del sur a lo largo de las costas de Perú y Ecuador, que se establece, aperiódicamente, al aproximarse el periodo navideño; de ahí el nombre asociado a El Niño Jesús (Magaña, 2004). Inicialmente, se creía que *El Niño* era un fenómeno local, cuyos impactos se manifestaban a través de lluvias torrenciales e inundaciones, principalmente, en Perú y Ecuador. Sin embargo, a partir de los años 70's, del siglo XX, se comenzó a descubrir que este fenómeno tiene efectos en el clima global a través de "teleconexiones" cuyos efectos se perciben de manera importante. Las primeras publicaciones, de revistas especializadas a cerca de *El Niño* muestran que este fenómeno ha sido observado y registrado desde 1726 (Quinn *et al.*, 1978; Cane, 1983) y lo definen como un calentamiento de las aguas del Océano Pacífico Tropical y es considerado como una perturbación de la circulación general de la atmósfera. Posteriormente, aparecen otras definiciones, entre éstas, se define como un calentamiento anómalo de las aguas superficiales del Este del Pacífico Ecuatorial que se presenta a intervalos irregulares de dos a siete años y tiene una duración de uno a dos años (De la Lanza y Galindo,

1989, Kahya and Dracup, 1993), aunque recientemente se ha presentado con mayor frecuencia, de tres a cuatro años y dura entre 12 y 18 meses (Pereyra *et al.*, 2004). Una de las definiciones más aceptada de *El Niño*, corresponde al estado climático en que la temperatura de la superficie del mar está 0.5 grados Celsius o más, por encima de la media del periodo 1950-1979, por al menos seis meses consecutivos, en la región conocida como "Niño 3" (4° N-4° S, 150° W-90° W). En cuanto a la intensidad de *El Niño*, éste se clasifica en cuatro categorías: **fuerte, moderado, débil y muy débil**; existiendo una marcada diferencia entre cada una de ellas (Quinn *et al.*, 1978).

¿Cómo se genera *El Niño*?

Se sabe que en condiciones normales el Océano Pacífico Tropical es recorrido por vientos dominantes que vienen del Este, denominados **vientos alisios**. Tales vientos tienden a acumular el agua tropical más caliente en el lado Oeste del Océano Pacífico, región de Indonesia. Por ser la temperatura de superficie del mar elevada en esta región (mayor a 28 °C), el aire es más ligero, creando una atmósfera inestable en la que se presenta gran convergencia de humedad, formación de nubes y lluvias intensas (Webster, 1994; citado por Magaña, 2004). Cuando los vientos alisios se debilitan y las aguas más calientes del Pacífico Tropical se esparcen a lo largo del Ecuador, por efecto de una onda oceánica ecuatorial de tipo Kelvin, a este fenómeno se le conoce como *El Niño*. Aunque no parece un gran aumento en la temperatura del mar (aprox. 2 °C), la cantidad de energía (calor) involucrada sí lo es, al punto de poder alterar los patrones de convección profunda, la formación de nubes cúmulos de gran altura y, con ello, el calor que se transporta a la atmósfera. El desplazamiento de esta fuente de calor atmosférico (nubes cúmulos) produce cambios en el clima a nivel global (Magaña, 2004). El futuro de *El Niño*, aunque en las últimas décadas del siglo XX se presentaron dos eventos muy intensos (1982-1983, 1997-1998), que coincide con la intensificación del calentamiento global, todavía hay que probar que dichos fenómenos estén correlacionados. Si este fuera el caso, *El Niño* podría volverse más intenso y destructivo.

Antecedentes

Hernández (1992) menciona que el daño por helada en los cultivos es una de las principales causas de pérdidas económicas para los agriculto-

res, siendo las heladas tempranas las más importantes si el desarrollo de los cultivos es retardado por condiciones climáticas. En este sentido, Novoa (2003) menciona que entre el 5 y 15% de la producción mundial es dañada por la presencia de heladas y que hay regiones del mundo donde la producción total puede perderse en un 90%, como es el caso de Chile. Por otro lado, Snyder *et al.* (2005) indican que cuando la temperatura del aire alcanza el 0 °C o por debajo de ésta, las cosechas sensibles pueden ser dañadas con efectos significativos sobre la producción. Por ejemplo, en los EEUU, hay más pérdidas económicas por heladas que por cualquier otro fenómeno meteorológico. Pereyra *et al.*, (1992) correlacionaron las heladas de Las Vigas, Veracruz, con los nortes que azotan las costas del Golfo de México, considerando que se había presentado helada cuando la temperatura al abrigo descendió por debajo de los 0° C, habiendo confirmado en todos los casos la presencia de escarcha (helada blanca) o hielo en el suelo (helada negra). En otro estudio para la región del valle de Perote, Pereyra y Tejeda (1993) simularon la marcha diaria de la temperatura cuando ocurrió la helada con el fin de pronosticar su ocurrencia para tomar medidas de prevención que eviten daños a los cultivos como maíz, papa, frijol, haba, entre otros.

El objetivo de este estudio fue conocer la distribución espacial y temporal de las heladas en el Estado de Aguascalientes, así como el periodo libre de heladas. Además, se propuso como hipótesis que puede existir una variación en el número de heladas bajo condiciones de *El Niño* fuerte, debido a que este fenómeno tiene efecto en la temperatura a nivel global.

Zona de estudio

La zona de estudio comprende al Estado de Aguascalientes, el cual se ubica en el centro de México y sus coordenadas geográficas extremas son; al norte 22°27', al sur 21°38' de latitud norte. Al este 101°53', al oeste 102°52' de longitud oeste, su superficie de 5,589 km²; representa el 0.3% del territorio nacional. Tres grandes regiones naturales atraviesan su territorio: la Sierra Madre Occidental, la Mesa Central o Altiplano y el Eje Neovolcánico; en estas regiones se encuentra una elevación de 3050 m, en la Sierra Fría. El territorio de la entidad, es por lo demás, predominantemente plano, pues cerca de la mitad lo constituyen los valles denominados Aguascalien-

tes y Calvillo, este último de gran productividad agrícola; aquí el municipio de El Llano de Ojuelos es de importancia por su producción agrícola de temporal (Gobierno de Aguascalientes, 2005). Las dos cuencas principales que drenan la entidad de Aguascalientes son la del río San Pedro o Aguascalientes y la del río Calvillo. Estos ríos son los afluentes más importantes del Río Santiago de la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, con vertiente occidental hacia el Océano Pacífico.

Climatología

El clima que predomina en la entidad es el semiseco templado, con una temperatura máxima anual promedio que oscila entre 24 y 29 °C; mientras que la temperatura media anual es de 17 °C. La temperatura mínima anual promedio varía entre 6 y 10 °C; las temperaturas más altas, dentro de las mínimas se presentan en el municipio de Calvillo (AgroClima, 2005). El periodo de lluvias corresponde al verano y la precipitación media anual es de 526 mm de acuerdo a los registros de la Comisión Nacional del Agua (CNA). La distribución de la precipitación anual promedio en la entidad presenta un máximo sobre el municipio de Calvillo, entre 600 y 700 mm (AgroClima, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Para conocer el periodo libre de heladas se hizo lo siguiente; a) se determina la fecha de la primera y última helada (del año siguiente) del periodo en estudio, b) se determina la fecha promedio de la primera y última helada. Para esto se numeran los días del año de 1 a 365 ó 366, si es bisiesto y se calcula el promedio de la primera y última helada sólo con los años donde se hayan presentado éstas. Finalmente, se determina el Periodo Libre de Heladas (PLH), que inicia con la fecha promedio de la última helada y termina con la fecha promedio de la primera. Los años que no registren heladas deberán tomarse como periodos de 365 ó 366 días libres de éstas; si transcurriera uno o varios inviernos así aparecerán periodos libres de heladas con más de 365 días, lo cual no representa ningún inconveniente ya que al final la suma obtenida se divide entre el número total de años de la serie (Pereyra *et al.*, 1990).

2. Para obtener los promedios mensuales de días con heladas, bajo condiciones de *El Niño fuerte*,

se tomó como referencia la clasificación que obtuvieron Tiscareño *et al.* (2003), la cual indica que un evento de *El Niño extremo o fuerte* es aquel donde la temperatura media del mar en la región Niño 3.4, del Océano Pacífico Central, es mayor al promedio mensual en 2 °C durante seis o más meses; bajo este criterio los años más cálidos del periodo son 1982, 1983, 1987, 1992, 1997 y 1998.

3. Para conocer la probabilidad de ocurrencia de helada se puede utilizar la distribución de probabilidad normal o Gausiana $F(x_i; \mu, \sigma)$ (Ec. 1), la cual se aplica a variables continuas que se distribuyen normalmente, su expresión matemática es la siguiente (Snedecor y Cochran, 1979; Montgomery y Runger, 1996):

$$F(x_i; \mu, \sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (\text{Ec. 1})$$

donde; x es la variable en estudio, μ y σ son la media y la desviación estándar de la población, respectivamente. Hoy día, no se conoce analíticamente la integral de la Ec. 1, por lo que es necesario recurrir a los métodos numéricos para evaluarla (Aparicio, 2005). Sin embargo, para hacer esto se requeriría una tabla para cada valor de μ y σ , por lo que se ha definido la variable estandarizada,

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (\text{Ec. 2})$$

que está normalmente distribuida con media cero y desviación estándar uno. Esta variable es función de los niveles de probabilidad asignado. Así, la función de distribución de probabilidad (Ec. 1) se puede escribir como;

$$F(Z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(Z)^2}{2}\right] dz \quad (\text{Ec. 3})$$

La función $F(Z)$ se ha calculado numéricamente y se han publicado tablas de ella en muchos libros de estadística (Little y Hills, 1976). Para aplicar la Ec. (3) las variables μ y σ se pueden estimar como la media, \bar{X} , y desviación estándar, S , de la muestra de datos (Aparicio, 2005). Las cuales se estiman con la Ec. (4).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i ; S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{Ec. 4})$$

donde; X es la observación i -ésima, n es el número total de observaciones.

La figura 1 muestra para cualquier Z positivo la probabilidad de que una medida dada de la distribución normal tenga un valor que se sitúe entre 0 y Z . Al utilizar los valores positivos Z que se encuentran bajo la curva (figura 1), muchas veces se desean probabilidades representadas por otras áreas diferentes a las tabuladas. A continuación se presentan (Ec.5) las relaciones para obtener las probabilidades que más comúnmente se necesitan (Snedecor y Cochran, 1979).

Probabilidad de un valor	Fórmula
1. Que esté entre 0 y Z	A
2. Que esté entre $-Z$ y Z	$2A$
3. Fuera del intervalo $(-Z, Z)$	$1 - 2A$
4. Menor que Z (Z positiva)	$0.5 + A$
5. Menor que Z (Z negativa)	$0.5 - A$
6. Mayor que Z (Z positiva)	$0.5 - A$
7. Mayor que Z (Z negativa)	$0.5 + A$

(Ec. 5)

En este caso, A (Ec. 5) representa los valores positivos que se encuentran bajo la curva de Z , que se consideraron de acuerdo a las características de Z (figura 1).

4. Aplicada la función de distribución normal es necesario saber si se ajusta bien a los datos, para esto se utiliza la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual se basa en la ecuación 6 (Ostle, 1979):

$$D = \text{Valor máximo } |F_0(X) - S_n(X)| \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde; $F_0(X)$ es la probabilidad de la distribución que se desea probar; $S_n(X) = K/n$, donde K es el número de orden y n el número total de observaciones; K es el número que se le asigna a una

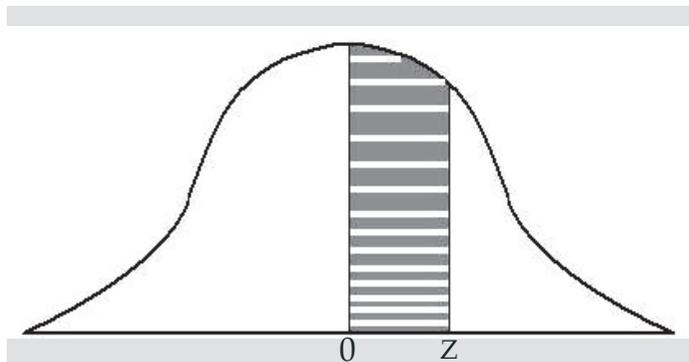


Figura 1. El lado sombreado de la gaussiana representa los valores positivo que se muestran en tablas (Ostle, 1979).

serie cronológica de datos ordenados de mayor a menor, asignándole al más grande el número uno, al siguiente el número dos y así sucesivamente. D es la máxima diferencia o desviación entre $F_0(X)$ y $S_n(X)$. Los valores obtenidos de D se comparan con los valores de D que están en tablas, con un valor de significancia α y el número total de observaciones n (Ostle, 1979). Si $D_{\text{máx}}$ es menor o igual al valor de D dado en tablas, el ajuste es bueno, de lo contrario se rechaza la hipótesis.

Características de la base de datos

La base de datos se encuentra en un programa llamado *Klima ver 2.0*, propiedad de AgroClima Informática Avanzada S. A. de C. V. Este programa es un manejador de datos de clima que contiene registro de 1,100 estaciones meteorológicas, el sistema calcula promedios diarios de temperatura máxima, mínima, precipitación, radiación y humedad relativa. Este sistema fue desarrollado en el lenguaje de programación de alto nivel *Visual Basic.Net* y accede a la base de datos mediante el método de directorio de tablas libres. Los datos de las estaciones provienen de los software *ERICK II* y *CLICOM*, que liberó el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y de algunos datos solicitados en forma directa al mismo. La base de datos original fue analizada con relación a fuentes de error y a la presencia de series truncadas por falta de datos. Para rellenar la serie, se utilizó el modelo climático llamado *WXGEN*, este modelo utiliza el método de funciones de probabilidad, basadas en la media y la varianza diaria, el coeficiente de simetría de la función y la probabilidad día por día de la afluencia de lluvia y temperatura, dependiendo de las condiciones diarias registradas, el modelo considera con mayor prioridad las condiciones registradas del día anterior (Tiscareño *et al.*, 1998). Con esto, se obtuvieron las series completas a partir del 1º de enero de 1979 al 31 de diciembre de 2001. Una vez analizados los registros de las estaciones, se obtuvieron los promedios anuales de la temperatura máxima, mínima y precipitación para cada estación. El software utilizado para generar los mapas fue *ArcView v. 9.0* de ESRI (Minami *et al.* 2000). Este software utiliza el método de interpolación conocido como "inverso a la distancia" (siglas en inglés *IDW*). El método genera interpolaciones de acuerdo a los datos que presenta cada estación.

RESULTADOS

Las figuras 2 y 3 muestran la climatología del número de días con heladas, para los meses de diciembre y febrero del periodo 1979 al 2001. Las fi-

guras 4 y 5 muestran la distribución de las heladas para los meses de diciembre y febrero, durante los años que se presentó *El Niño* en su categoría fuerte. Las figuras 6 y 7 se generaron con base en los resultados obtenidos de la función de distribu-

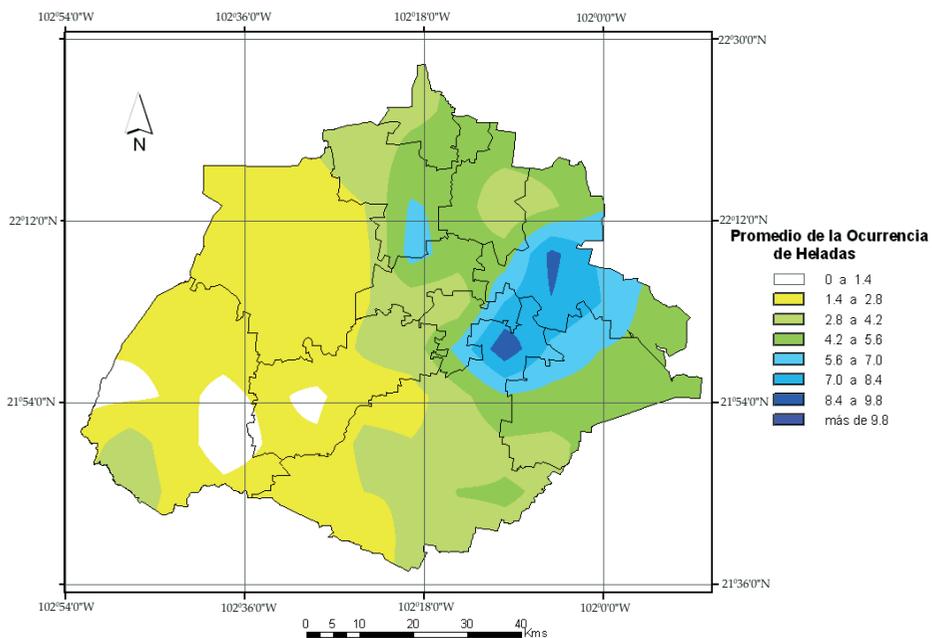


Figura 2. Presencia e incidencia de heladas en el mes de diciembre, periodo 1979-2001.

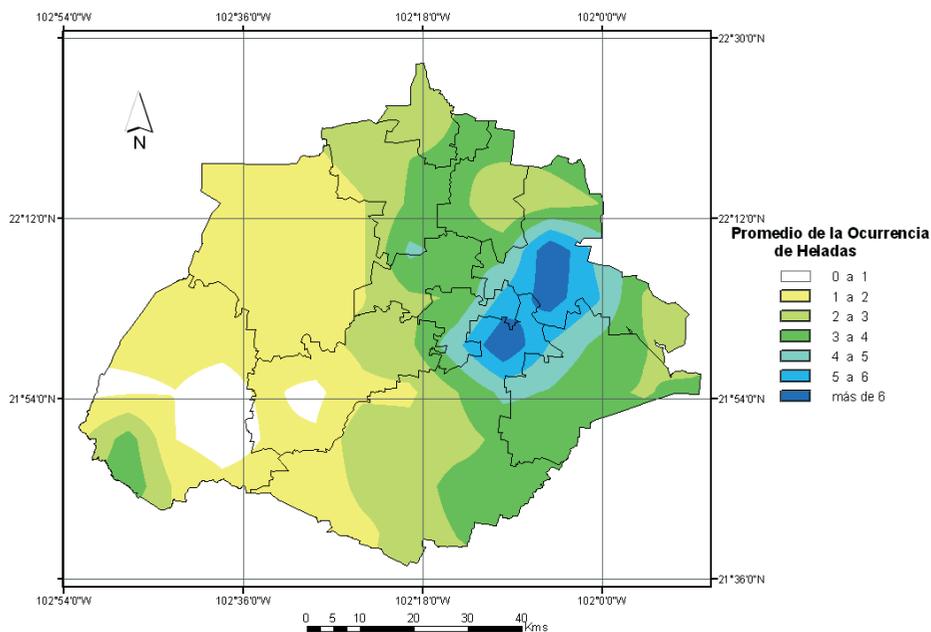


Figura 3. Presencia e incidencia de heladas en el mes de febrero, periodo 1979-2001.

ción de probabilidad normal, donde se muestra la probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada para algunas estaciones climatológicas del Estado de Aguascalientes. Los datos de probabilidad utilizados para generar las figuras 6 y 7 de la primera y última helada son representativos,

ya que la función de distribución normal se ajustó. Tomando como base los valores obtenidos de probabilidad de la distribución normal, mostrados en las figuras 6 y 7, se consideró pertinente realizar los mapas de probabilidad de ocurrencia de heladas, para periodos decenales; siendo la primera

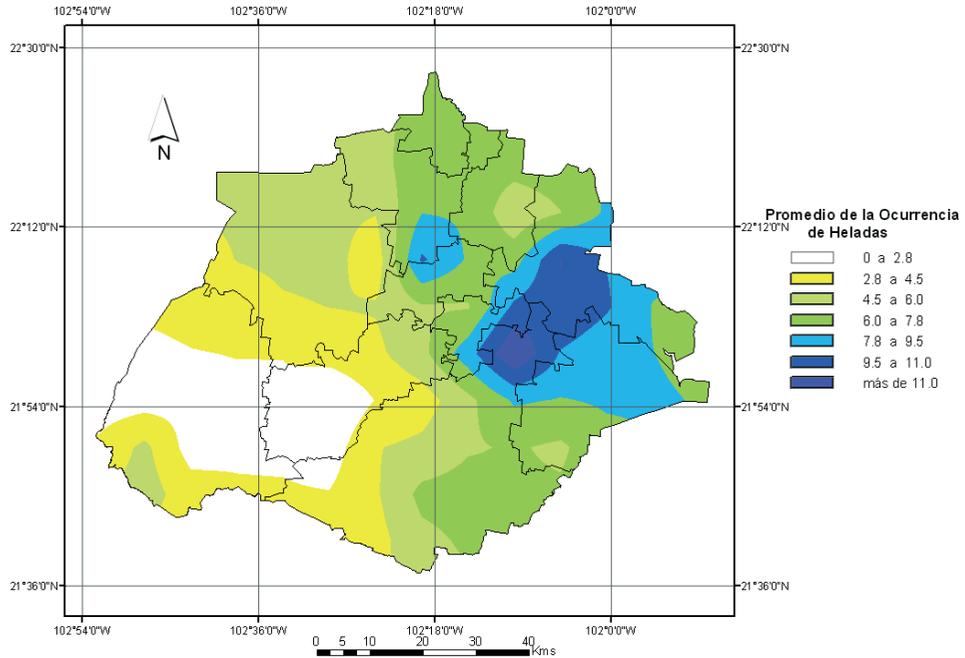


Figura 4. Presencia de heladas en diciembre para el Estado de Aguascalientes, en condiciones de *El Niño fuerte*, periodo 1979-2001.

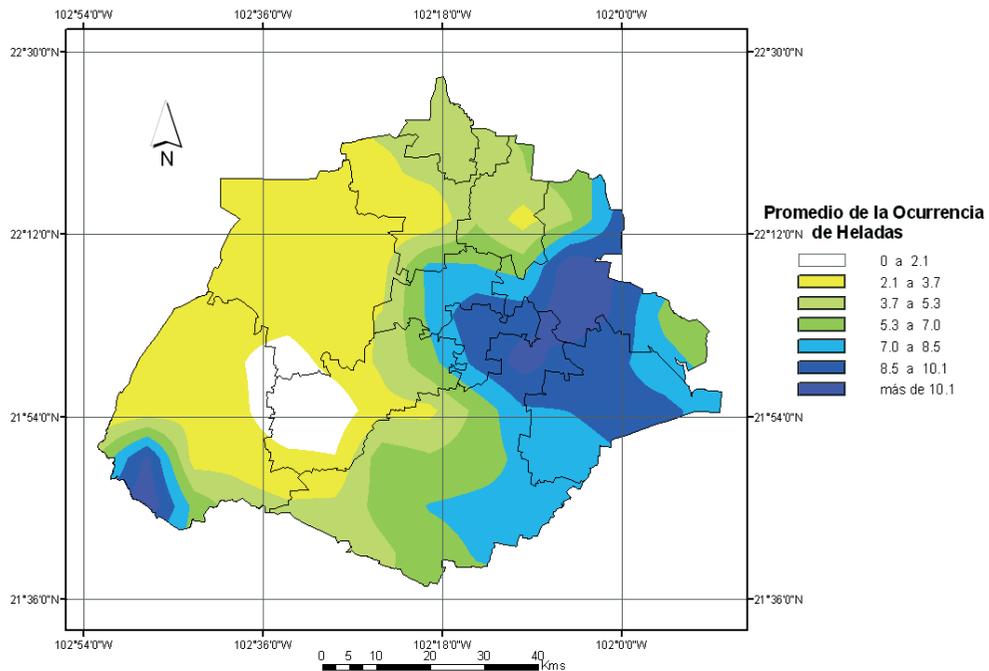


Figura 5. Presencia de heladas en febrero para el Estado de Aguascalientes, en condiciones de *El Niño fuerte*, periodo 1979-2001.

decena del 1 al 10, la segunda del 11 al 20 y la tercera del 21 al 28, 29, 30 ó 31, según sea el caso. Las figuras 8 a 10 muestran la probabilidad de registrar helada en cada decena de diciembre, con una confiabilidad del 95%. En la primera decena del mes de diciembre, la probabilidad se incrementa hasta un 90% sobre los municipios de Rincón de Romos, San José de Gracia, Pabellón de Arteaga

y Tepezalá. Por otra parte, sobre los municipios de Calvillo, Aguascalientes y Jesús María la probabilidad varía entre un 50 y 60%. Los resultados muestran que a partir de la tercera decena de noviembre y hasta la de febrero, gran parte del Estado de Aguascalientes tiene una alta probabilidad para el desarrollo de heladas, ya que oscila entre 80% y 100%.

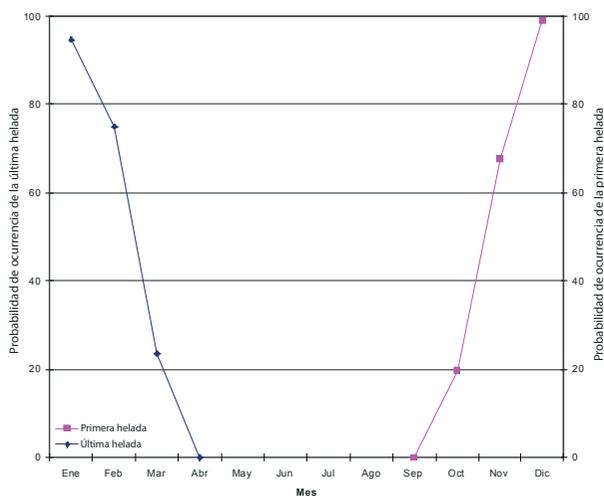


Figura 6. Probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada en la estación Pabellón de Arteaga, Ags., periodo 1979-2001.

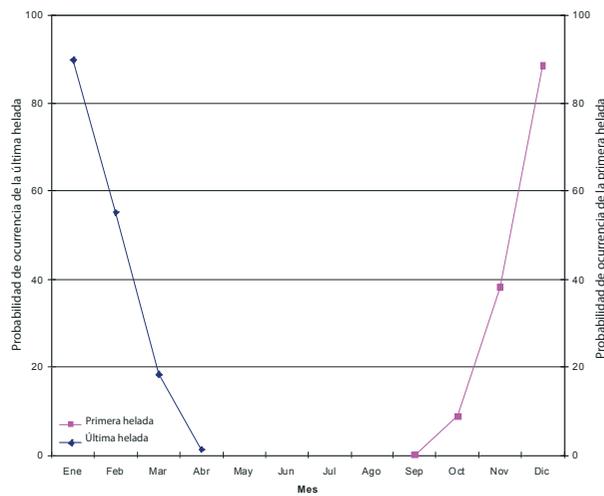


Figura 7. Probabilidad de ocurrencia de la primera y última helada en la estación San Bartolo, Ags., periodo 1979-2001.

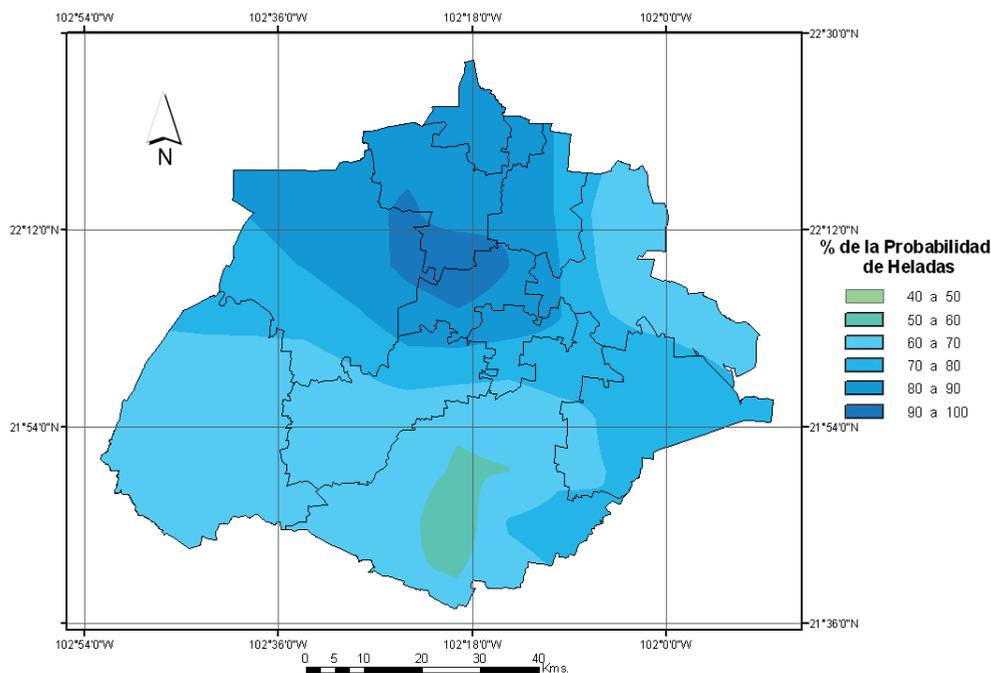


Figura 8. Probabilidad de ocurrencia de heladas en la primera decena de diciembre, periodo 1979-2001.

Figura 9. Probabilidad de ocurrencia de heladas en la segunda decena de diciembre, periodo 1979-2001.

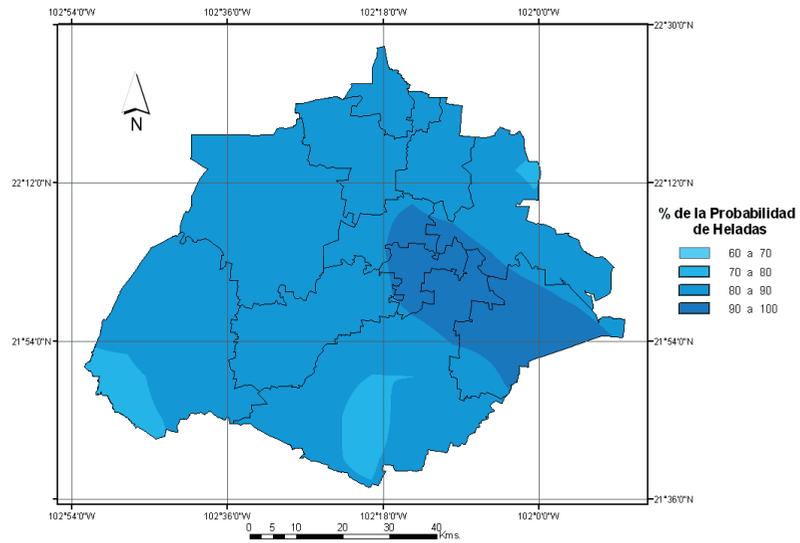


Figura 10. Probabilidad de ocurrencia de heladas en la tercera decena de diciembre, periodo 1979-2001.

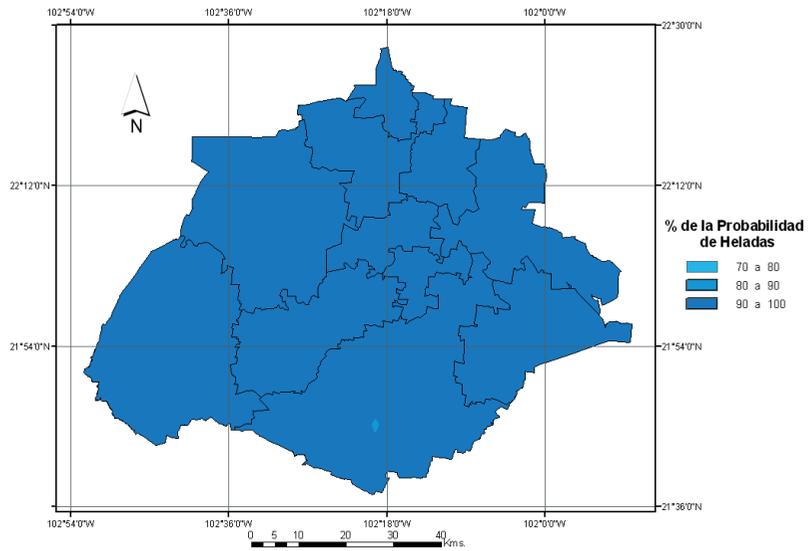
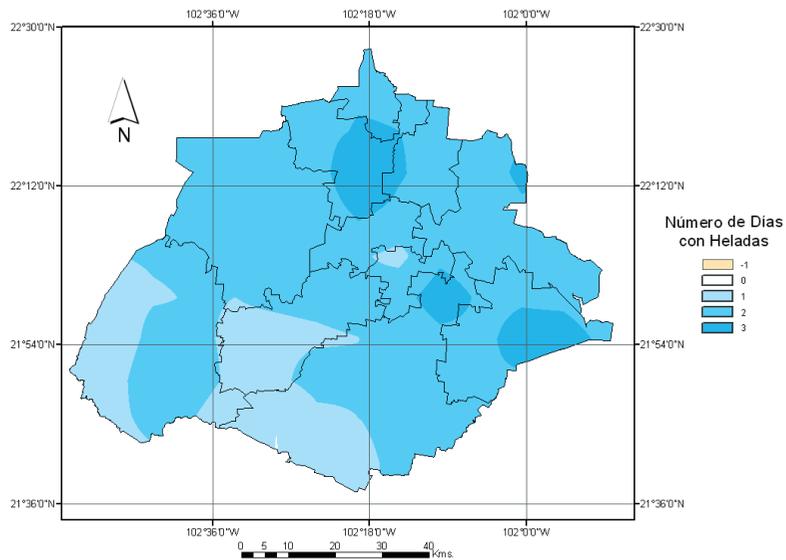


Figura 11. Anomalía en el número de días con heladas en condiciones normales para el mes de diciembre.



Las figuras 11 y 12, representan la diferencia del promedio de días con heladas; se comparan los años de la climatología y de *El Niño fuerte*, con la finalidad de encontrar anomalías. Las figuras 11 y 12 (diciembre) indican que la climatología del número de días con heladas puede oscilar entre -1 y +3 días con respecto a su promedio mensual, los municipios más vulnerables a presentar dicho fenómeno son Rincón de Romos y El Llano. Mien-

tras, bajo condición de *El Niño fuerte*, el número de días tienden a incrementarse a más de siete días con respecto a su promedio. Aunque en la climatología no se representan cambios con respecto a su promedio, en general, las figuras elaboradas muestran que *El Niño fuerte* tiene gran influencia en el registro del número de días con heladas. La figura 13 muestra la climatología del Período Libre de Heladas (PLH) del periodo 1979-

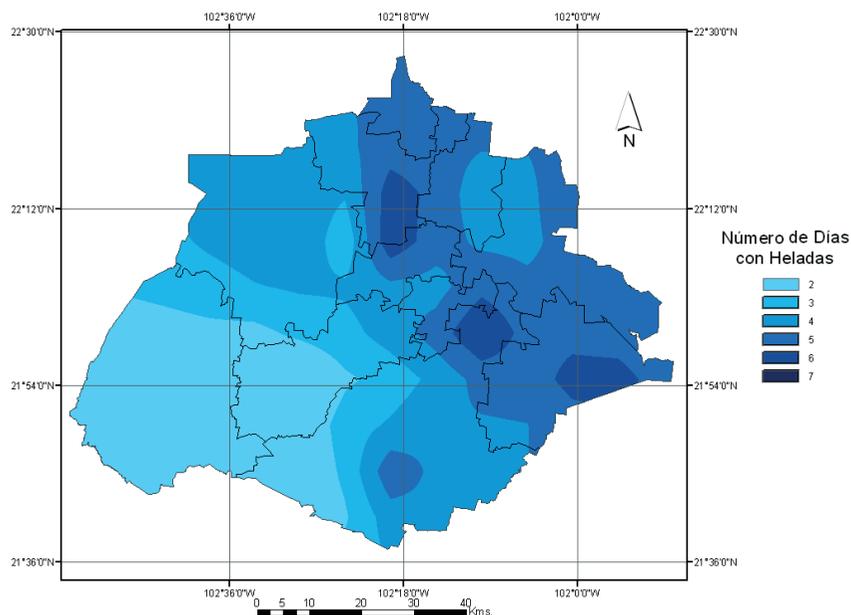


Figura 12. Anomalía en el número de días con heladas bajo condiciones de *El Niño fuerte* para el mes de diciembre.

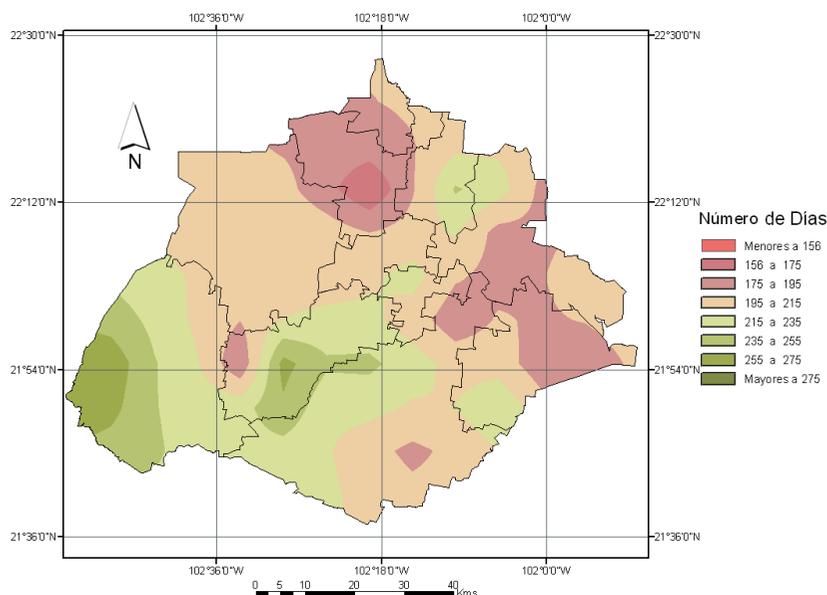


Figura 13. Número de días libres de heladas, condición climática, serie 1979 a 2001.

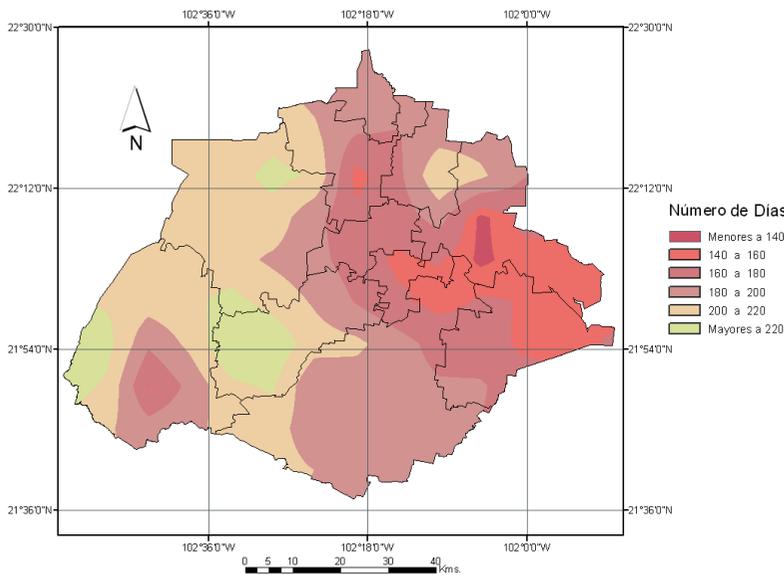


Figura 14. Número de días libres de heladas, condición *El Niño fuerte*, serie 1982, 1983, 1987, 1992, 1997 y 1998.

2001 y la figura 14 muestra el periodo libre de heladas bajo condiciones de *El Niño fuerte*; se observa una disminución del número de días libres de heladas al año.

DISCUSIÓN

Las figuras 13 y 14 permitieron conocer las alteraciones que genera la influencia de *El Niño fuerte* en cuanto al número de días con heladas, ya que se presentan anomalías positivas en casi toda la temporada. Esto se puede relacionar con las investigaciones de Magaña (1999), que afirma que durante años de *El Niño*, la corriente en chorro de latitudes medias y subtropical, se desplaza al Sur alrededor de 500 km. Dado que los sistemas de latitudes medias utilizan esta corriente en chorro para adquirir energía y desplazarse, el paso de los frentes fríos aumenta, hecho que genera la entrada de las masas polares hacia el Norte y Centro de la República Mexicana. Por ello, se puede deducir que el incremento del número de días con heladas bajo condición de *El Niño*, se debe al incremento de la frecuencia de las masas polares sobre el Centro de la República Mexicana.

CONCLUSIONES

En este estudio se presentan las siguientes conclusiones: **a)** El promedio de heladas obtenido de la climatología indica que el inicio de la temporada es en octubre (99% de las estaciones registran heladas) y concluye en abril (60% de las esta-

ciones presentan registros). **b)** Las primeras heladas aparecen en la parte Centro-Sur del Estado; conforme pasa el tiempo las heladas se generalizan en todo el Estado. **c)** El promedio de días con heladas en condiciones de *El Niño fuerte* indica que el periodo inicial de éstas es también en octubre (más del 70% de las estaciones registran heladas en este mes) y el periodo finaliza en el mes de abril. Además, se encontró que la ocurrencia de heladas bajo condiciones de *El Niño fuerte* se incrementa hasta en un 80%. **d)** Por otro lado, del análisis decenal, se concluye que entre la tercera decena de octubre y la primera decena de noviembre existe una probabilidad del 20% en registrar una helada en la región Centro, Norte y Este del Estado.

En cuanto al final del periodo, éste concluye en la tercera decena del mes de marzo, ya que en algunas regiones se pueden presentar aún heladas, con una probabilidad del 20% y desde el mes de noviembre al mes de febrero, casi todo el Estado está propenso a registrar heladas. **e)** En cuanto al periodo libre de heladas, la climatología indica que los municipios de Calvillo, Aguascalientes y Jesús María son los que presentan más días sin eventos de heladas al año, teniendo una oscilación de 255 a 275 días; sin embargo, los municipios de Rincón de Romos, Cosío, Tepezalá, Asientos y El Llano registran una oscilación menor de 156 a 175 días. **f)** Bajo la condición de *El Niño fuerte*, el periodo libre de heladas se altera, generando una reducción en los días libres de heladas al año y registran una oscilación de 140 a 180 días en casi todo el Estado.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se recomienda realizar la siembra durante el periodo de marzo a septiembre, ya que la frecuencia de helada es muy baja o nula. Debido al calentamiento global, se están teniendo inviernos más tibios que podrían reducir el número de heladas, pero éstas podrían ser más intensas; como ocurre con la precipitación, que llueve menos en algunos lugares pero cuando ocurre, las tormentas son más intensas. Por último, es recomendable llevar a cabo un estudio similar bajo condiciones de *La Niña*.

REFERENCIAS

- APARICIO F.J., *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Limusa, 303 pp., 2005.
 - AGROCLIMA, *Base de datos climatológicos en el Software Klima V. 2.0*. México: AgroClima Informática Avanzada S. A. de C. V., 2005.
 - CANE M.A., *Oceanographic events during El Niño*, *Science*, Vol. 222, 1189-1195, 1983.
 - DE LA LANZA G. e I. GALINDO, *ENSO 1986-1987 at mexican subtropical Pacific offshore Waters*, *Atmósfera*. Vol. 2, 17-30, 1989.
 - FUENTES L., *Iniciación a la Meteorología Agrícola*. España: Ediciones Mundi-Prensa, 195 pp., 1989.
 - HERNÁNDEZ A., *Estimación de Horas Frío y Periodo Libre de Heladas para el Estado de Veracruz*. México: Colec. Textos Universitarios, Univ. Ver., 1-23, 1992.
 - KAHYA E. AND J. A. DRACUP, *U.S. Streamflow Patterns in Relation to the El Niño/Southern Oscillation*. *Water Resour. Res.*, Vol. 29(8), 2491-2503, 1993.
 - LITTLE T. M. y F. J. HILLS, *Métodos estadísticos para la investigación en agricultura*. México: Trillas, 270 pp., 1976.
 - MAGAÑA V., *Los impactos del Niño en México*. México: UNAM, 229 pp., 2004.
 - MATÍAS G., A. et al., *Heladas*. México: Centro Nacional de Previsión de Desastres (CENAPRED), 39 pp., 2001.
 - MINAMI M. et al., *Using ArcMap, GIS by ESRI*. Arc GIS. *Environment Research Institute, Inc.*, 528 pp., 2000.
 - MONTGOMERY D. C. y G. C. RUNGEER, *Probabilidad y Estadística Aplicada a la Ingeniería*. México: McGraw-Hill/ Interamericana Editores, 173-189, 1996.
 - NOVOA R., *Daños generados por heladas*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), *Gobierno de Chile*. 60 pp., 2003.
 - OSTLE B., *Estadística Aplicada*. México: Limusa, 629 pp., 1979.
 - PEREYRA-DÍAZ D., et al., *Heladas en el Cofre de Perote: técnicas de protección*. Colec. Textos Universitarios, Univ. Ver., México. 45 pp., 1990.
 - PEREYRA DÍAZ D., et al., *Correlation between northers of Gulf of Mexico and frosts at Las Vigas, Veracruz, México*. *Atmósfera*. Vol 5(2), 109-118, 1992.
 - PEREYRA DÍAZ D. y A. TEJEDA-MARTÍNEZ, *On simulation of the air temperature curve near the ground in precense of frost in the Valley of Perote (Mexico)*, *International Journal of Biometeorology, Germany*. Vol. 37(2), 101-103, 1993.
 - PEREYRA-DÍAZ D., et al., *Influencia de La Niña y El Niño sobre la precipitación de la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, México*, *Universidad y Ciencia, México*. Vol. 20(39), 33-38, 2004.
 - QUINN, W.H. et al., *Historical trends and statistical of the Southern Oscillation, El Niño, and Indonesian drought*. *Fishery Bulletin*. Vol. 76 (3), 663-668, 1978.
 - ROMO G. y R. ARTEAGA, *Meteorología Agrícola*. Segunda ed., México: Universidad Autónoma de Chapingo, 301 pp., 1989.
 - SNEDECOR C. y G. COCHARN, *Métodos Estadísticos*. México: CECSA, 703 pp., 1979.
 - SNYDER L., et al., *Frost Protection: fundamentals, practice and economics*, *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. Italia. Vol. 1, 240 pp., 2005.
 - TISCAREÑO M., et al., *Algunos efectos del fenómeno climático EL NIÑO en la agricultura Mexicana*. *Ciencia y Desarrollo, CONACYT*, 5-13, 1998.
 - TISCAREÑO, M., et al., *Modeling El Niño Southern Oscillation Climate impact on Mexican agriculture*. *Geofísica Internacional*. Vol. 42 (3), 331-339, 2003.
 - TORRES E., *Agrometeorología*. México: Editorial Trillas, 154 pp., 1995.
- DICTIOTOPOGRAFÍA:**
- *BBC Broatcast Meteorologist Peter Gibbs*
<http://www.bbc.co.uk/waeather/features/undertanddinn/frost.shtm>, mayo 28 de 2009.
 - *Gobierno del Estado de Aguascalientes, Ubicación y Zona Geográfica*. De:
<http://www.aguascalientes.gob.mx/estado/ubica.aspx>, abril de 2005.
 - *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Agricultura, Estado de Aguascalientes*. De:
<http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/aguascalientes/agricultura/index.html>, marzo de 2006.

Hábitos alimenticios de los caballos *Dinohippus mexicanus* y *Neohipparion eurystyle* del Hemphiliano Tardío de Tecolotlán, Jalisco, México

Christian Raúl Barrón Ortiz ¹ y José Rubén Guzmán Gutiérrez ²

RESUMEN

Se utilizó el método de mesodesgaste para reconstruir los hábitos alimenticios de los équidos fósiles *Dinohippus mexicanus* y *Neohipparion eurystyle* procedentes de la Cuenca de Tecolotlán, Jalisco, México. Para ello, se emplearon los datos de mesodesgaste de 27 ungulados de referencia actuales, los cuales presentan una dieta "típica". Los resultados revelan que la muestra de *D. mexicanus* se acomoda muy cerca de *Ovibos moschatus*, *Gazella thomsoni* y *Gazella granti*, lo cual indica que presentaba una dieta mixta (ramoneador-pacedor), en tanto que *N. eurystyle* se acomoda con los pacedores actuales. Los resultados obtenidos para *D. mexicanus* contrastan con otros estudios en los que, mediante isótopos estables, se determinó que para las localidades de Yepómera (Chihuahua) y Rancho El Ocote (Guanajuato), México, esta especie se alimentaba casi exclusivamente de pastos C4. Futuros estudios permitirán refinar los resultados aquí presentados y contrastar las metodologías que se emplean para inferir la dieta de ungulados extintos.

Palabras clave: Paleontología, *Dinohippus mexicanus*, *Neohipparion eurystyle*, mesodesgaste, Tecolotlán, Hemphiliano Tardío.

Key words: Paleontology, *Dinohippus mexicanus*, *Neohipparion eurystyle*, Mesowear method, Tecolotlán, Late Hemphillian.

Recibido: 30 de junio de 2009, aceptado: 12 de agosto de 2009

¹ Instituto Nacional de Antropología e Historia, Centro INAH Aguascalientes, chbarron45@yahoo.com

² Departamento de Paleontología, Desarrollo Turístico El Caracol, IMAE, paleovert@yahoo.com.mx

ABSTRACT

The mesowear method was used to reconstruct the dietary behavior of the fossil equids *Dinohippus mexicanus* and *Neohipparion eurystyle* from the basin of Tecolotlán, Jalisco, Mexico. A comparative set of 27 extant ungulates with known "typical" diets was employed. The results show that the sample of *D. mexicanus* clusters in close proximity to *Ovibos moschatus*, *Gazella thomsoni*, and *Gazella granti*, suggesting that this equids was a mixed feeder. On the other hand, *N. eurystyle* clusters within the extant grazers. The results obtained for *D. mexicanus* contrast with previous studies in which, based on the analysis of stable isotopes, this species seems to have been a C4 grazer at the Mexican fossil localities of Yepomera (Chihuahua State) and Rancho El Ocote (Guanajuato State). Further studies will refine the results presented and they will offer the possibility to contrast the methodologies currently used to infer the diet of extinct ungulates.

INTRODUCCIÓN

En los équidos, así como en otros ungulados, el desarrollo de dientes de coronas altas (dientes hipsodontos) se ha considerado una adaptación para procesar alimento abrasivo, como los pastos (MacFadden, 1992). Es por ello que todos los équidos hipsodontos fósiles han sido considerados ungulados pacedores, como generalmente es el caso para los representantes actuales: caballos, asnos y cebras. Sin embargo, estudios recientes han puesto a prueba esta interpretación y se ha descubierto que diversas especies presentaron un espectro trófico de mayor amplitud (MacFadden, *et al.*, 1999; Kaiser, 2003; Kaiser y Franz-Odenaal, 2004; MacFadden, 2008). Tal es

el caso de *Dinohippus mexicanus* (Lance) 1950. Este équido es considerado el grupo hermano más cercano del género *Equus*, el cual incluye a los équidos actuales y es característico de la última fase del Hemphiliano Tardío de Norteamérica (5.8 a 4.8 millones de años; MacFadden, 1992).

Estudios recientes, empleando isótopos estables y microdesgaste, han demostrado que *Dinohippus mexicanus* presentó un amplio espectro trófico a lo largo de su distribución geográfica. En las localidades de Florida, E.U.A., *D. mexicanus* presentaba una dieta mixta, en tanto que en Texas y México, Yepómera (Chihuahua) y Rancho el Ocote (Guanajuato), se alimentaba principalmente de pastos C4 (MacFadden *et al.*, 1999; MacFadden, 2008). Por otro lado, estos mismos estudios indican que *Neohipparion eurystyle* (Cope) 1893, era principalmente un pacedor C4. Sin embargo, estos trabajos no contemplan el material de la Cuenca de Tecolotlán, Jalisco, occidente de la República Mexicana. La Cuenca de Tecolotlán conserva abundantes restos de vertebrados del Cenozoico Tardío, de los cuales la fauna del Hemphiliano Tardío es la más representativa (Carranza-Castañeda y Miller 2002; Miller y Carranza-Castañeda 2002; Carranza-Castañeda, 2006). En el presente estudio, se analizaron muestras de *D. mexicanus* y *N. eurystyle* procedentes de esta región con la finalidad de reconstruir su dieta, empleando el método de mesodesgaste.

MATERIALES Y MÉTODOS

Actualmente existen tres métodos principales para inferir la dieta de ungulados fósiles: isótopos estables, microdesgaste y mesodesgaste. El primero parte del hecho de que las plantas fraccionan los isótopos de carbono en distintas proporciones, dependiendo de la ruta fotosintética que realicen. Las plantas C3 emplean el ciclo fotosintético de Calvin e incluyen a la gran mayoría de los árboles, arbustos y pastos que crecen en zonas de gran altitud, así como aquellos de climas fríos. En contraste, las plantas C4 emplean el ciclo de Hatch-Slack e incluyen a los pastos tropicales y templados. Los mamíferos herbívoros incorporan en sus tejidos los valores isotópicos de su dieta y por lo tanto, es posible determinar si un herbívoro en particular se alimentaba de plantas tipo C3, C4 ó una mezcla de ambas (MacFadden, 2008).

Los otros dos métodos, microdesgaste y mesodesgaste, evalúan los rasgos físicos generados sobre el esmalte por la interacción diente con

diente y diente-alimento. El microdesgaste se concentra en el estudio de los rasgos microscópicos, por ejemplo, surcos y cavidades, los cuales de acuerdo a comparaciones con especies actuales permiten la reconstrucción de la dieta de un ungulado extinto según el patrón de microdesgaste que presente (Solounias y Semprebon, 2002).

El método de mesodesgaste fue propuesto por Fortelius y Solounias (2000). Originalmente se concentró sobre los segundos molares superiores y posteriormente fue ampliado en los équidos por Kaiser y Solounias (2003) para incluir las últimas cuatro posiciones dentales superiores: P4-M3. El método ha probado ser robusto, brindando resultados consistentes para las tres categorías tróficas principales: ramoneador, mixto y pacedor. Además, ya ha sido aplicado con éxito para diversas especies de équidos, cérvidos, jiráfidos y artiodáctilos actuales (Kaiser y Franz-Odenaal, 2004).

El método de mesodesgaste consiste en observar las cúspides bucales del diente formadas sobre el ectolofa (cara externa del molar). Se ha demostrado que la dieta influye en el desarrollo de estas cúspides. Los alimentos abrasivos, como los pastos, tiende a redondear y eliminar las cúspides, en tanto que una dieta de plantas más suaves, tiende a mantenerlas puntiagudas y prominentes. Las variables empleadas en el método de mesodesgaste (Figura 1) son el desarrollo de las cúspides (altas o bajas) y la forma de las mismas (en punta, redonda o plana). Se elabora una matriz de frecuencias de estas variables expresadas en porcentajes, tomándose en cuenta la cúspide más puntiaguda de las dos (Tabla 2). Posteriormente, se compara con los datos de ungulados actuales mediante un análisis jerárquico de conglomerados con liga completa (empleando distancias euclidianas), utilizando el porcentaje de cúspides altas, en punta y planas. De esta forma se encuentra el análogo actual más cercano, en cuanto a dieta, a la muestra bajo estudio. En este trabajo se utilizaron los 27 ungulados actuales de referencia señalados por Fortelius y Solounias (2000). Asimismo, se descartaron dientes sin o con poco desgaste al igual que dientes muy desgastados. El análisis se realizó utilizando el paquete computacional STATISTICA 7.0.

Los ejemplares estudiados se encuentran depositados en la colección particular con número de registro PF-1332, designado por el Instituto Na-

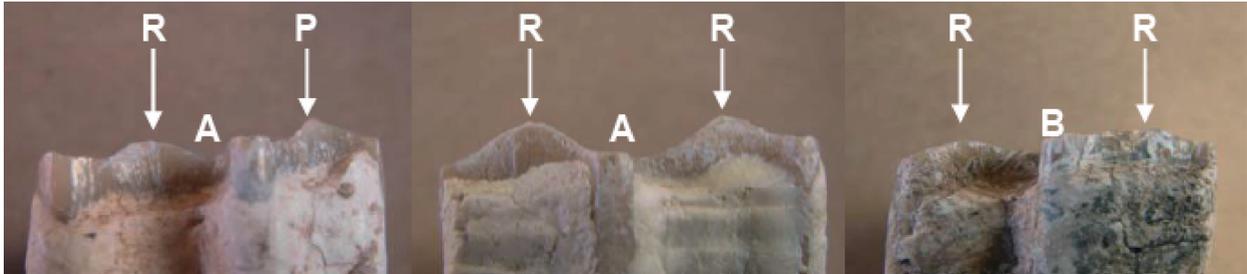


Figura 1. Vista bucal de molares superiores de *Dinohippus mexicanus* mostrando las variables consideradas en el método de mesodesgaste. De izquierda a derecha PF-1332-3360, PF-1332-3390 y PF-1332-3505. A= Cúspides altas; B= Cúspides bajas; P= En punta; R=Redonda.

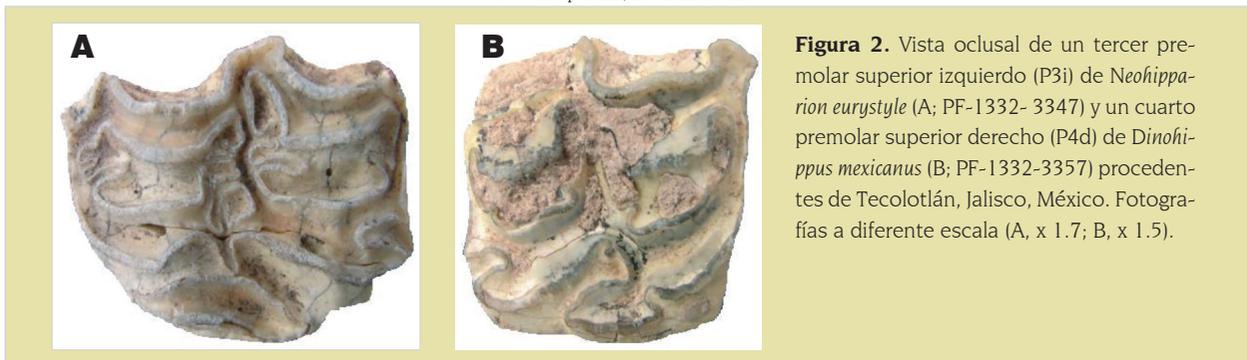


Figura 2. Vista oclusal de un tercer premolar superior izquierdo (P3i) de *Neohipparion eurystyle* (A; PF-1332-3347) y un cuarto premolar superior derecho (P4d) de *Dinohippus mexicanus* (B; PF-1332-3357) procedentes de Tecolotlán, Jalisco, México. Fotografías a diferente escala (A, x 1.7; B, x 1.5).

cional de Antropología e Historia (INAH), que actualmente está bajo resguardo en el Centro INAH Aguascalientes. El material fue colectado sobre la carretera Tecolotlán-Autlán de Navarro, Jalisco. La identificación taxonómica de los ejemplares se realizó utilizando diversas fuentes bibliográficas (Lance, 1950; Carranza-Castañeda y Ferrusquía-Villafranca, 1979; MacFadden, 2006). La muestra de estudio consistió en trece dientes maxilares de *Dinohippus mexicanus* y ocho dientes maxilares de *Neohipparion eurystyle* (Tabla 1). Fortelius y Solounias (2000) indican que para obtener una aproximación razonable mediante el método de mesodesgaste, se requiere de un mínimo de diez ejemplares. Por tal motivo, los resultados obtenidos para *N. eurystyle* deben considerarse como preliminares.

Cabe mencionar que la muestra de estudio idealmente debe de proceder de un intervalo de tiempo geológicamente corto, ya que la dieta de una especie puede presentar cambios temporales. MacFadden (2008), en su estudio de la paleodieta de los équidos del Hemphiliano Tardío de E.U.A. y México, propone como pertinente un intervalo de tiempo

Tabla 1. Ejemplares estudiados.

Especie	Ejemplar	Diente	DC	An	Po
<i>Dinohippus mexicanus</i>	PF-1332-3354	P4d	B	<u>R</u>	-
	PF-1332-3357	P4i	B	<u>P</u>	R
	PF-1332-3360	M1d	A	R	<u>P</u>
	PF-1332-3364	M1d	A	-	<u>R</u>
	PF-1332-3390	M1i	A	<u>R</u>	R
	PF-1332-3391	M2i	A	<u>R</u>	R
	PF-1332-3392	M2d	B	<u>R</u>	R
	PF-1332-3393	M2d	A	<u>P</u>	-
	PF-1332-3419	M3d	A	R	<u>P</u>
	PF-1332-3462	M3i	B	<u>P</u>	P
	PF-1332-3505	M1d	B	<u>R</u>	R
	PF-1332-3506	M2d	A	<u>R</u>	R
	PF-1332-4039	P4d	A	<u>P</u>	P
<i>Neohipparion eurystyle</i>	PF-1332-3349	M2i	B	PI	<u>R</u>
	PF-1332-3350	M1i	B	R	R
	PF-1332-3374	M3d	B	<u>P</u>	R
	PF-1332-3379	M1i	B	P	<u>P</u>
	PF-1332-3494	M2i	A	<u>R</u>	R
	PF-1332-3495	M1i	B	<u>R</u>	PI
	PF-1332-3501	M3i	B	<u>P</u>	PI
	PF-1332-3661	M1i	B	<u>P</u>	R

Ejemplar, número de catálogo. Diente, tipo de diente (P: premolar; M: molar) y su posición (d: derecha; i: izquierda). DC, desarrollo de las cúspides (A = altas; B = bajas). An, cúspide anterior. Po, cúspide posterior. Forma de las cúspides, P = En punta; R = Redonda; PI = Plana. Para cada molar, el método de mesodesgaste considera la cúspide más puntiaguda de las dos (aquí subrayada), independientemente si se trata de la cúspide anterior o posterior.

Tabla 2. Distribución de las variables de mesodesgaste para la muestra estudiada mostrando los conteos absolutos y el porcentaje de frecuencia.

Especie	n	B	A	P	R	PI	%B	%A	%P	%R	%PI
<i>D. mexicanus</i>	13	5	8	6	7	0	38.5	61.5	46.2	53.8	0
<i>N. eurystyle</i>	8	7	1	4	4	0	87.5	12.5	50.0	50.0	0

A= Cúspides altas; B= Cúspides bajas; P= En punta; R=Redonda; PI= Plana.

que no supere los 100,000 años. Sin embargo, el material de Tecolotlán aquí estudiado carece de datos estratigráficos. Estudios previos de la zona de Tecolotlán realizados por Carranza-Castañeda (2006) han identificado que la secuencia del Hemphiliano Tardío consiste en más de 50 m de depósitos fluviales, lacustres y aluviales, en donde *Dinohippus mexicanus* y *Neohipparion eurystyle* están ampliamente distribuidos. Esta secuencia representa un amplio intervalo de tiempo y, por tanto, se corre el riesgo de que los resultados obtenidos no sean confiables. No obstante, Carranza-Castañeda (2006) identifica dos secciones para la secuencia del Hemphiliano Tardío de Tecolotlán. La sección inferior se caracteriza por la notable abundancia del équido *Nannipus minor*, en tanto que la sección superior carece de esta especie y se han colectado abundantes restos de microvertebrados. Suponemos que los fósiles de la colección PF-1332 provienen de la parte superior de la columna estratigráfica debido a la ausencia de *N. minor* y la presencia de numerosos restos de microvertebrados. Las edades radiométricas presentadas por este mismo autor sugieren que esta sección representa un intervalo de tiempo menor a los 100,000 años y que, por lo tanto, la muestra estudiada de *D. mexicanus* así como de *N. eurystyle*, pudieran encontrarse dentro del intervalo temporal sugerido por MacFadden (2008).

desgaste que se han publicado emplean la prueba de ji-cuadrada (X^2) para determinar si hay diferencias significativas entre las distribuciones de las muestras estudiadas. Sin embargo, esta prueba presenta sesgos cuando alguno de los valores esperados es menor que uno y/o cuando el 20 % o más de los valores esperados son menores que cinco (Lieberman, 1971). Tal es el caso para los datos obtenidos en este estudio. Es por ello que se empleó la prueba exacta de Barnard. Esta prueba muestra que los valores absolutos de mesodesgaste para *Neohipparion eurystyle*, difieren significativamente de *Dinohippus mexicanus* en lo que respecta al desarrollo de las cúspides ($P = 0.041$). La mayor proporción de cúspides altas en esta última especie sugiere que presentaba una dieta menos abrasiva. El análisis jerárquico de conglomerados (Figura 3) ubica la muestra de *D. mexicanus* de Tecolotlán con los ungulados

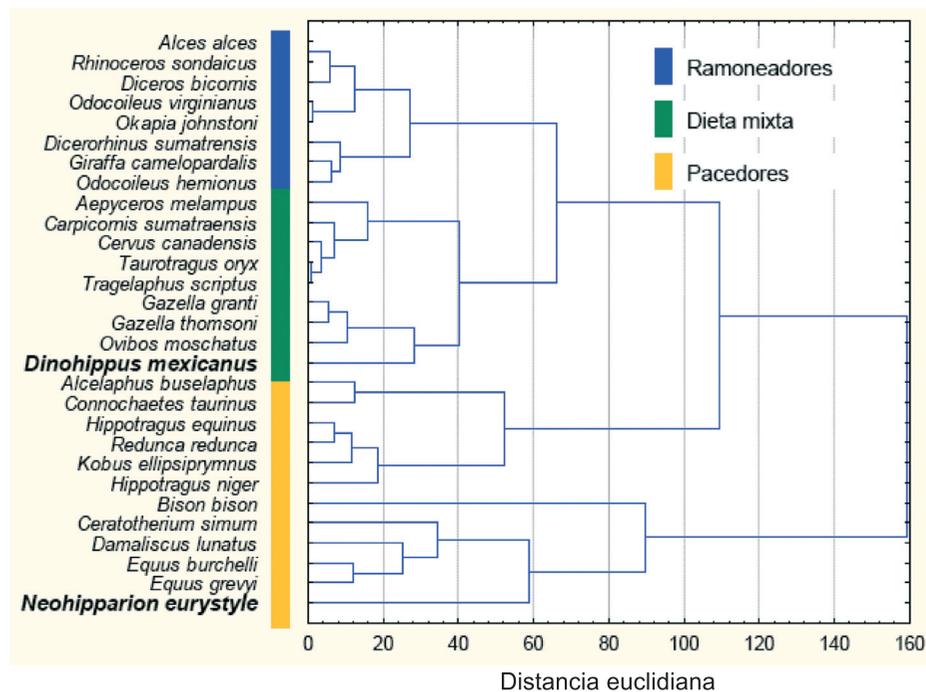


Figura 3. Diagrama jerárquico de conglomerados para la muestra estudiada de *Dinohippus mexicanus* y *Neohipparion eurystyle* comparada con un conjunto de ungulados "típicos", utilizando el porcentaje de cúspides altas, en punta y planas.

RESULTADOS

La gran mayoría de los trabajos de meso-

actuales *Ovibos moschatus* (buey almizclero), *Gazella thomsoni* (gacela de Thomson) y *Gazella granti* (gacela de Grant), los cuales son considerados herbívoros de dieta mixta (Fortelious y Solonias, 2000). Por otro lado, *Neohipparion eurystyle* se acomoda junto con los pacedores actuales *Ceratotherium simum* (rinoceronte blanco), *Damaliscus lunatus* (topi), *Equus burchelli* (cebra de Burchell) y *Equus grevyi* (cebra de Grévy). La Figura 4 muestra los histogramas de frecuencia de las variables de mesodesgaste de *D. mexicanus* y *N. eurystyle* comparadas con un ungulado de dieta mixta (*Ovibos moschatus*) y un pacedor actual (*Damaliscus lunatus*).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para *Neohipparion eurystyle* son congruentes con los presentados por otros estudios. Tanto para las localidades de Florida y Texas, E.U.A., así como para las de Chihuahua y Guanajuato, México, esta especie es considerada principalmente un pacedor C4 (MacFadden *et al.*, 1999; MacFadden, 2008). En contraparte, los resultados presentados para *Dinohippus mexicanus* contrastan con los obtenidos, mediante isótopos estables, para otras localidades de Norteamérica. MacFadden (2008) encontró que los ejemplares de Texas, Chihuahua (Yepómera) y Guanajuato (Rancho El Ocote), presentan valores isotópicos característicos de organismos con una dieta a base de pastos C4. Solamente el material de Florida presenta valores isotópicos congruentes con una dieta mixta; el análisis de microdesgaste para este mismo material también sugiere una dieta mixta o, inclusive, ramoneadora (MacFadden *et al.*, 1999). No obstante que se trata de métodos diferentes, organismos que se alimentan exclusivamente de pastos, tanto C4 como C3, muestran un patrón de mesodesgaste muy característico, el cual no está presente en la muestra de Tecolotlán.

Sin duda, *D. mexicanus* presentó un amplio espectro trófico a lo largo de su distribución geográfica. Casos similares se han reportado para otros équidos (Kaiser, 2003; Kaiser y Franz-Odenaal, 2004), incluyendo la cebra *Equus burchelli* (Kaiser y Schulz, 2006). Estos autores indican que la discrepancia trófica entre las poblaciones contemporáneas de una misma especie, se correlaciona con diferencias en el ambiente que cada población ocupó, ya que el tipo y disponibilidad

de alimento se ve influenciado por diversos parámetros ambientales. La señal de mesodesgaste de *D. mexicanus* de Tecolotlán indica que tenía acceso y consumía pastos al igual que otro tipo de plantas menos abrasivas. De esta manera se plantea la posibilidad de que, durante el Hemphiliano Tardío, esta zona estuvo constituida por un mosaico vegetacional como se ha propuesto para Florida (MacFadden 2008) o, quizá, por una marcada estacionalidad entre la temporada de lluvias y el periodo de secas que generó una oscilación entre la disponibilidad de pastos y otro tipo de plantas menos abrasivas. Los resultados obtenidos para *N. eurystyle* de la Cuenca de Tecolotlán claramente sugieren una dieta a base de pastos, comparable a lo que ocurre en Florida (MacFadden *et al.*, 1999; MacFadden, 2008), lo cual brindaría apoyo a la primera hipótesis. No obstante, para poder presentar una reconstrucción del paleoambiente predominante durante el Hemphiliano Tardío en esta región de México, resulta indispensable la integración de estos resultados junto con el análisis completo de la fauna y flora, incluyendo el estudio de isótopos estables y microdesgaste.

CONCLUSIONES

El análisis de mesodesgaste realizado en este trabajo sugiere que *Dinohippus mexicanus* de Tecolotlán, Jalisco, presentaba una alimentación mixta (ramoneador-pacedor), en tanto que el

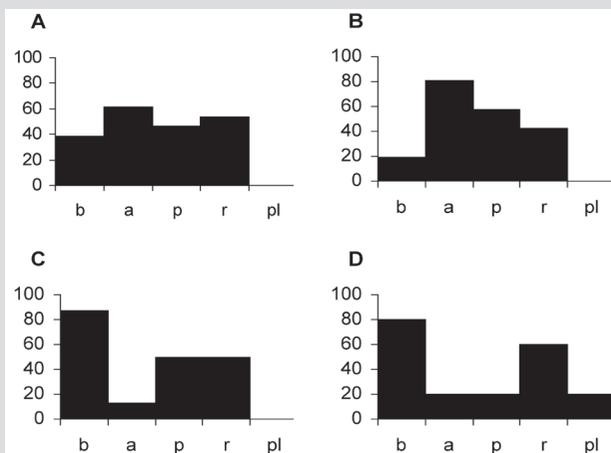


Figura 4. Histogramas de frecuencia de las variables de mesodesgaste porcentaje (%) de cúspides bajas (b), altas (a), en punta (p), redondas (r) y planas (pl) para los équidos *Dinohippus mexicanus* (A) y *Neohipparion eurystyle* (C) de Tecolotlán, Jalisco, al igual que los ungulados actuales *Ovibos moschatus* (B) y *Damaliscus lunatus* (D).

patrón de mesodesgaste de *Neohipparion eurysyle* indica una dieta constituida principalmente por pastos. Estos resultados sugieren que la zona de Tecolotlán, durante el Hemphiliano Tardío, estuvo conformada por un mosaico vegetacional. No obstante, se considera conveniente realizar análisis de isótopos estables y microdesgaste, así como estudiar una muestra de mayor tamaño para obtener resultados más consistentes. Asimismo, estos estudios permitirán contrastar las metodologías que actualmente se emplean para inferir la dieta de ungulados extintos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los revisores anónimos por sus valiosos comentarios que sin duda mejoraron el manuscrito original. Se agradece también al maestro José de Jesús Ruiz Gallegos del Departamento de Estadística de la Universidad Autónoma de Aguascalientes por sus comentarios y a la Bióloga Blanca Elizabeth Romo Rábago por haber revisado la primera versión del manuscrito.

REFERENCIAS

- CARRANZA-CASTAÑEDA, O., Late Tertiary fossil localities in central Mexico, between 19°-23°N, en Carranza-Castañeda, O. y Lindsay, E.H. (eds.), *Advances in late Tertiary vertebrate paleontology in Mexico and the Great American Biotic Interchange*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología y Centro de Geociencias. Publicación Especial 4, 45 - 60, 2006.
- CARRANZA-CASTAÑEDA, O. y FERRUSQUÍA-VILLAFRANCA, I., El género *Neohipparion* (Mammalia-Perissodactyla) de la fauna local Rancho El Ocote, (Plioceno Medio) de Guanajuato, México, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 3, 29 - 38, 1979.
- CARRANZA-CASTAÑEDA, O. y MILLER, W., Inmigrantes sudamericanos en las faunas del terciario tardío del centro de México, en Montellano-Ballesteros, M. y Arroyo-Cabral, J., (coord.) *Avances en los estudios paleomastozoológicos*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. 69 - 81, 2002.
- FORTELIUS, M. y SOLOUNIAS, N., Functional characterization of ungulate molars using the abrasion-attrition wear gradient: a new method for reconstructing paleodiets, *American Museum Novitates*. 3301, 36 pp., 2000.
- KAISER, T.M., The dietary regimes of two contemporaneous populations of *Hippotherium primigenium* (Perissodactyla, Equidae) from the Vallesian (Upper Miocene) of Southern Germany, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 198, 381 - 402, 2003.
- KAISER, T.M. y FRANZ-ODENDAAL, T.A., A mixed-feeding *Equus* species from the Middle Pleistocene of South Africa, *Quaternary Research*. 62, 316 - 323, 2004.
- KAISER, T.M. y SCHULZ, E., Tooth wear gradients in zebras as an environmental proxy - A pilot study, *Mitteilungen des. Hamburgischen Zoologischen Museum und Institut*. 103, 187 - 210, 2006.
- KAISER, T.M. y SOLOUNIAS, N., Extending the tooth mesowear method to extinct and extant equids, *Geodiversitas*. 25, 321 - 345, 2003.
- LANCE, J. F., Paleontología y Estratigrafía del Plioceno de Yepómera, Estado de Chihuahua 1ª parte: équidos, excepto *Neohipparion*, *Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Boletín*. 54, 81 pp., 1950.
- LIEBERMAN, B., *Contemporary problems in statistics: a book of readings for the behavioral sciences*. New York: Oxford, 446 pp., 1971.
- MACFADDEN, B.J., *Fossil Horses, Systematics, Paleobiology and Evolution of the Family Equidae*. New York: Cambridge University Press, 362 pp., 1992.
- MACFADDEN, B.J., Early Pliocene (Latest Hemphillian) horses from the Yepómera local fauna, Chihuahua, Mexico, en Carranza-Castañeda, O. y Lindsay, E.H. (eds.), *Advances in late Tertiary vertebrate paleontology in Mexico and the Great American Biotic Interchange*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología y Centro de Geociencias. Publicación Especial 4, 33 - 43, 2006.
- MACFADDEN, B.J., Geographic variation in diets of ancient populations of 5-million-year-old (early Pliocene) horses from southern North America, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 266, 83-94, 2008.
- MACFADDEN, B.J., SOLOUNIAS, N. y CERLING, T.E., Ancient diets, ecology, and extinction of 5-million-year-old horses from Florida, *Science*. 283, 824-827, 1999.
- MILLER, W., y CARRANZA-CASTAÑEDA, O., Importance of Mexico's late Tertiary mammalian faunas, en Montellano-Ballesteros, M. y Arroyo-Cabral, J., (coord.) *Avances en los estudios paleomastozoológicos*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. 83-101, 2002.
- SOLOUNIAS, N. y SEMPREBON, G., Advances in reconstruction of ungulate ecomorphology with application to early fossil equids, *American Museum Novitates*. 3366, 49 pp., 2000.

Legado y trascendencia de las ideas evolutivas de Charles Darwin

"No es el más fuerte de la especie el que sobrevive, ni el más inteligente, sino el más responsable al cambio".

Charles Darwin

Jorge Martínez Martínez ¹

RESUMEN

El concepto de evolución a través de la selección natural de Charles Darwin es una de las ideas científicas más brillantes de todos los tiempos para la comprensión de la biodiversidad y el lugar que ocupa la humanidad en la naturaleza. Reencauzar el verdadero sentido de la teoría evolutiva será uno de los mayores retos futuros y la mejor forma de celebrar el bicentenario de Darwin y los 150 años de la publicación de su obra cumbre *El Origen de las Especies*.

ABSTRACT

The Charles Darwin concept of evolution through natural selection is one of the greatest scientific ideas of all time, for the understanding of the biodiversity and the place of humanity in nature. Redirection of the true sense of the evolutionary theory is one of the biggest challenges ahead and how best to celebrate the bicentenary of Darwin and 150 years of the publication of his masterpiece *The Origin of Species*.

Palabras clave: Evolución, *El Origen de las Especies*, selección natural, transmutación, descendencia con modificación, lucha por la existencia.

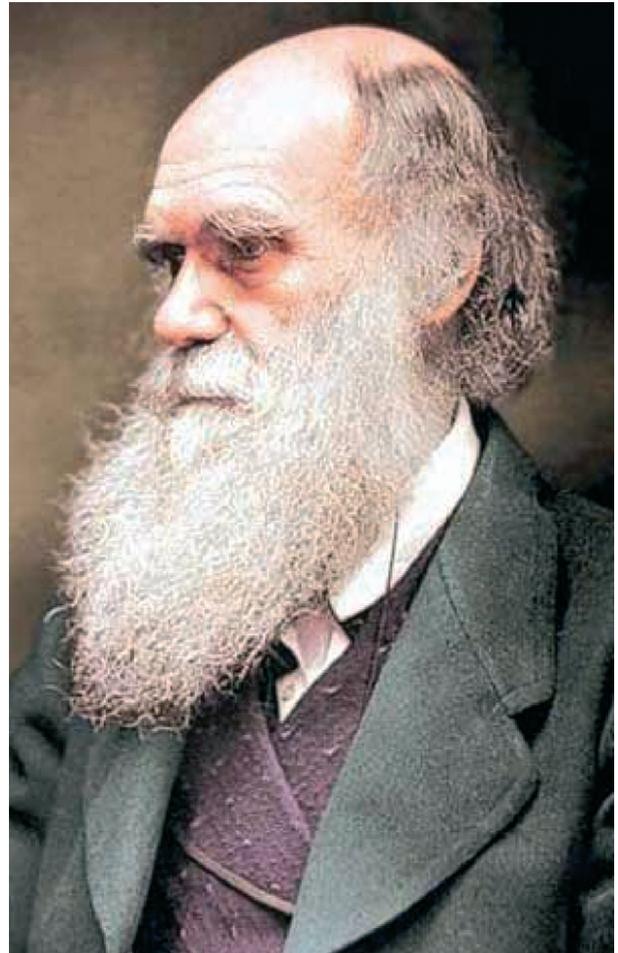
Key words: Evolution, *The Origin of Species*, natural selection, transmutation, descent with modification, struggle of existence.

Recibido: 12 de mayo de 2009, aceptado: 12 de agosto de 2009

¹ Departamento de Biología, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes, jmartin@correo.uaa.mx

Influencias de las ideas de Darwin: Selección natural como explicación del proceso evolutivo

¿Por qué sigue siendo tan grande la influencia de Darwin? Científicos o no y quienes aceptan o rechazan la evolución, hablan del darwinismo



Tomada de www.discoveroursecret.co.sh/.../darwin1.jpg

como si la evolución fuera sinónimo del trabajo de un solo hombre. De hecho, Darwin no ha sido la primera persona que sugirió que toda la vida sobre la tierra ha descendido de un ancestro común que vivió en el pasado geológico remoto. Además, Darwin murió años antes que fuera redescubierto el trabajo de Mendel y se estableciera a la genética como ciencia y, obviamente, mucho antes de los avances de la biología molecular que han permitido descifrar la estructura y función de los ácidos nucleicos. El mérito de Darwin fue explicar de una manera simple el fenómeno evolutivo, al proponer el mecanismo de la selección natural como promotor del cambio evolutivo. Tanto Darwin como el codescubridor de la selección natural, Alfred Russel Wallace, se vieron inspirados en parte por la teoría socioeconómica de Thomas Malthus, quien advertía en su obra *Ensayo sobre el Principio de la Población* (1803) que el crecimiento poblacional humano siempre sobrepasaría al crecimiento de los recursos, así que la superpoblación y los suministros insuficientes son inevitables y deberían ser aceptados y afrontados. Independientemente, Darwin y Wallace aplicaron estos principios al mundo natural. Se produce más prole de la que puede sobrevivir, algunos están mejor adaptados a las condiciones predominantes que otros, y aquellos individuos mejor adaptados tienen mayor potencialidad de dejar sus ventajosos rasgos heredables a la siguiente generación. Darwin le dio un tratamiento científico a la evolución al considerar que las semejanzas que relacionan a todos los organismos surgen como una consecuencia necesaria de lo que él llamó "descendencia con modificación" y proponer que existe una "lucha por la existencia" que ocurre universalmente al nacer más organismos de los que pueden sobrevivir y reproducirse. El proceso de selección natural favorece a ciertos individuos dentro de una población que tienen variaciones genéticas que los adaptan a su ambiente. Como esos individuos tienen mayores probabilidades de supervivencia y reproducción, la población futura incluirá mayores números de estos descendientes con los rasgos seleccionados o adaptaciones.

Riqueza de aportaciones de Darwin

La mayoría de los investigadores en biología evolutiva fundamentan su linaje intelectual en retrospectiva con Darwin, cuyo nombre sigue profundamente ligado al campo de la biología evolutiva y la idea de la evolución. Eldredge, opina que, aún hablamos de Darwin simplemente porque no hemos absorbido plenamente su mensaje, por

eso su legado resuena contemporáneamente en los tiempos modernos.

Darwin es un modelo de científico creativo prolífico, su obra es muy diversa; está constituida por 16 libros, más de 5,000 cartas, diarios, notas y panfletos, los cuales nos dan una idea del trabajo mental de un hombre cuyo pensamiento evolutivo aún prevalece en la escena mundial. La herencia intelectual de Darwin sobre la idea de la evolución, va más allá del hecho de que si la vida ha evolucionado, sino de cómo evolucionó ésta, o sea la propuesta de mecanismos o procesos que tratan de explicar la evolución biológica.

Otra aportación muy importante es el concepto de la unicidad de la vida o de la ancestría común, la cual fue confirmada independiente con el descubrimiento de la estructura del material genético, más de un siglo después de la publicación de *El Origen de las Especies*. Antes de que se aceptara la idea de un ancestro común, las clasificaciones eran intentos de discernir algún sistema natural, filosófico o teológico, capaz de organizar la similitud biológica. Para Darwin, el árbol de la vida implicaba que las clasificaciones, en la medida de lo posible, deberían de ser genealógicas.

El mundo viviente nos muestra una serie de formas posibles pero la mayor parte de ellas así como los rasgos de transición han sido eliminados. Aunque la extinción ya era reconocida como un hecho, fue Darwin el que plasmó cómo su actuación conforma las lagunas en la diversidad biológica a lo largo del tiempo. Asimismo, la idea de que los cambios evolutivos implicaban grandes periodos de tiempo, graduales y continuos, fue una aportación absolutamente necesaria para su teoría en un sentido en que no lo había sido antes para ninguna otra teoría biológica. Si las especies pueden diversificarse, si cambian para adaptarse a nuevas circunstancias y oportunidades, si pueden migrar y si los climas han cambiado a lo largo del tiempo, entonces las distribuciones de plantas y animales no son patrones casuales, sólo la adaptación y la dispersión evolutiva podrán dar cuenta de dichos patrones biogeográficos.

Darwin comprendió que otras fuerzas, además de la selección natural, podían influir en la evolución de la forma de las especies. Observó que las diferencias entre sexos en muchas especies, podían tener importancia en la elección de pareja y que este hecho influiría en el éxito reproductivo de la generación siguiente. Las diferencias entre

sexos se podían explicar como el resultado de los procesos de elección de pareja y de la competencia territorial. Darwin dedujo el concepto de la coevolución mediante diversificación a lo largo de millones de años y estableció que especies de orígenes muy diversos, han desarrollado relaciones ecológicas mutuas a lo largo del tiempo que han llegado a afectar aspectos críticos de sus morfologías.

Darwin realizó contribuciones pioneras en el campo de la psicología, su tratado sobre las emociones y la forma en que éstas se expresan las consideró como productos de la evolución por selección natural, equivalentes a rasgos anatómicos o fisiológicos. Todas estas aportaciones están plasmadas en algunos de sus trabajos principales como son: *La estructura y la distribución de los arrecifes de coral*, *La monografía sobre especies de percebes de la subclase Cirripedia*, *Los tratados sobre entrecruzamiento de orquídeas por insectos*, *La variación de animales y plantas bajo domesticación*, *la descendencia del hombre*, y *la selección en relación al sexo* o simplemente titulado *El origen del hombre*, *La expresión de las emociones en el hombre y los animales*, *Plantas insectívoras*, *Los efectos de la autofecundación y la fecundación cruzada en el reino vegetal*, *Las diferentes formas de flores sobre plantas de la misma especie*, *El potencial del movimiento en las plantas*, *La formación de lodo vegetal, a través de la acción de gusanos*, con observaciones sobre sus hábitos, y sobretodo en su obra más conocida *Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural o la preservación de las razas favorecidas en la lucha por la vida*. Darwin fue uno de los más grandes genios de la ciencia de todos los tiempos y sus obras han influenciado al mundo científico.

Trascendencia y desviaciones de interpretación de la teoría de Darwin

Sus ideas sobre selección natural se han expandido más allá de la evolución a través de la Biología, habiendo trascendido a otras disciplinas. Tanto la gente promedio como la que posee un mayor grado de educación cultural, no han puesto gran atención a los desarrollos en la ciencia evolutiva; para la mayoría, Darwin significa un solo hecho notable: el que los humanos descendemos de los monos, consideración interpretada erróneamente. Aún cuando ésta puede ser la idea popular, lo que Darwin escribió es que los humanos y los grandes primates compartirían un ancestro común (Darwin, 1871). La familia humana, o el gé-

nero humano, como Darwin adivinó, se originó en África y se dispersó al resto del mundo en formas posteriores que descienden de un grupo humano que, evidentemente, se fragmentó hace unos seis millones de años, para originar líneas separadas hasta llegar a nuestros parientes vivientes más cercanos: los chimpancés y gorilas.

El pensamiento de Darwin sobre el proceso evolutivo va más allá, hace que todo en biología sea como un rompecabezas intrincado con el cual su teoría es una pieza clave para su entendimiento, siendo la evolución el gran principio unificador de la Biología.

No obstante, por razones políticas o religiosas, los detractores de Darwin han malinterpretado y canalizado una gran cantidad de energía en atacar los últimos 150 años.

En la actualidad, la mayoría de los biólogos reconocen la idea de que la vida evolucionó por selección natural a lo largo de miles de millones de años. Hace 150 años (24 de noviembre) que se publicó la obra cumbre de Charles Darwin sobre la teoría de descendencia con modificación por medio de la selección natural; el aspecto más sorprendente de la teoría es su simplicidad, la selección natural se presenta al existir variación heredable, en conjunto con la sobreabundancia de descendientes y el cambio ambiental, siendo esto la base de la continuidad del proceso de la evolución. El mundo natural puede ser explicado sin invocar líneas germinales preexistentes, fuerzas vitales, grandes cadenas de seres o creaciones especiales. Por la misma simplicidad, nuevos descubrimientos han podido ser asimilados en la teoría, a pesar de que en tiempos de Darwin los principios de la genética habían tenido poca divulgación; no obstante, que en el año de 1865, Mendel presentó ante la Sociedad de Historia Natural de Brunn su artículo *Experiments on Plant Hybridization*, en el cual presentaba las bases de sus leyes sobre segregación y herencia genética, pero lamentablemente Darwin desconocía dicha publicación. Asimismo, las bases matemáticas de la selección natural representan conocimientos que han hecho más robusta la teoría, por las aportaciones de los modeladores matemáticos de la Síntesis Moderna de la Teoría de la Evolución en los años 1930. Ronald Fisher, Sewall Wright y J.B.S. Haldane, quienes demostraron, entre otras cosas, que incluso pequeñas ventajas selectivas podrían afectar permanentemente la evolución en las poblaciones. También, la simplicidad ha sido un factor clave en la persistencia de las

ideas originales de Darwin, mismas que hoy están actualizadas con aportes de diversos campos de la Biología y otras ciencias y con evidencias acumuladas en diversos campos como: Paleontología, Biogeografía, Taxonomía, Fisiología, Biología Molecular, Bioquímica, Embriología, Ecología, Sociobiología y Etología, por lo que se puede estar seguro que el nombre de Darwin prevalecerá ante los retos de encontrar más evidencias de la evolución de los sistemas biológicos complejos, incluyendo la sociedad humana.

Ningún investigador ha tenido un impacto colectivo tan grande sobre las ciencias naturales y sociales, política, religión, y filosofía; así como en el arte y las relaciones culturales. Antes de Darwin, y aún actualmente en algunos casos, la opresión racial y la inequidad fueron típicamente justificadas por invocar un "orden natural" religioso. Después de Darwin, "la ventaja competitiva" y "la selección natural" han sido también explicaciones malinterpretadas que justifican tendenciosamente la superioridad biológica de ciertos grupos, aún no totalmente superadas.

Conclusión e importancia del legado darwinista para la evolución

A la luz de la gran cantidad de evidencias procedentes de diversos campos de estudio, la evolución es considerada como un hecho científico explicado por la teoría evolutiva. A partir de sus trabajos, Darwin propuso dos grandes principios explicativos: la descendencia con modificación a partir de ancestros comunes, así como la causa o mecanismo de esto como lo es la selección natural de variantes hereditarias, ambas provistas de abundantes evidencias acerca de su realidad histórica.

Actualmente, sabemos que existen más causas de evolución que las consideradas por Darwin y que la selección natural y la variación hereditaria son mucho más complejas que lo que se pensó al inicio. Dawkins, asegura que el fundamento del proceso evolutivo radica en la competencia entre los genes representados en generaciones subsecuentes. Otros van más allá del nivel molecular y consideran a la estructura de los ecosistemas y a los eventos físicos involucrados en su perturbación, como los que determinan la variación genética y su interacción con la selección natural.

Este complejo de fuerzas evolutivas e ideas interrelacionadas acerca de las causas de la evolución son lo que se constituye actualmente como la **teoría evolutiva moderna o sintética**, que como toda teoría científica es un cuerpo de conocimientos incompletos en pleno crecimiento, o en "evolución constante", como todas las entidades biológicas, desde las biomoléculas hasta los elementos de los paisajes biosféricos; pasando por genes, agrupamientos genéticos, individuos y poblaciones, pero con bases muy firmes como para ser aceptada, corregida y aumentada por la mayoría de los científicos dentro y fuera de la Biología y por parte de las sociedades humanas. Aunque en la Biología actual es ampliamente aceptada la evolución como un hecho, los grupos científicos multidisciplinarios que estudian los procesos evolutivos, consideran que aún hay mucho por aprender, estamos lejos de una teoría completa de la evolución, pero Darwin sigue representando un científico revolucionario cuyas ideas fundamentaron la biología evolutiva.

REFERENCIAS

- DARWIN, C. R. *The structure and distribution of coral reefs. Being the first part of the geology of the voyage of the Beagle, under the command of Capt. Fitzroy, R.N. during the years 1832 to 1836.* London: Smith Elder and Co., 1842.
- DARWIN, C. R. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life.* London: John Murray, 1859.
- DARWIN, C. R. *The variation of animals and plants under domestication.* London: John Murray. Volume 1-2, 1868.
- DARWIN, C. R. *The descent of man, and selection in relation to sex.* London: John Murray. Volume 1-2, 1871.
- DARWIN, C. R. *The expression of the emotions in man and animals.* London: John Murray, 1872.
- DESMOND, A. J. & Moore, J. *Charles Darwin: The Life of a Tormented Evolutionist.* New York: Warner, 1991.
- Padian, K. Darwin's enduring legacy. *Nature* 451, 632-634, 2008.
- ROSE, M.R. *Darwin's spectre evolutionary biology in the modern world.* Princeton Univ. Press, 2009.

El paciente Charles Darwin

Luis Muñoz Fernández ¹

RESUMEN

Charles Darwin es un personaje primordial en la historia y desarrollo de la Biología. Realizó sus aportaciones capitales padeciendo una serie de trastornos con diversas manifestaciones clínicas para las que se han propuesto varias hipótesis. Hasta el momento, no se conoce con precisión la naturaleza del padecimiento que lo incapacitó durante la segunda mitad de su vida. Sin embargo, las evidencias disponibles apuntan a una combinación de alteraciones psicológicas y trastornos orgánicos entre los que destaca la enfermedad de Chagas.

ABSTRACT

Charles Darwin is a keystone in the history and development of Biology. He made his important contributions suffering various clinical disorders and there are some hypotheses trying to explain them. Until now, we don't know the exact nature of the illness or illnesses that caused Darwin's disability. The available clues point to a combination of psychological and physical disturbances with the central role of Chagas' disease.

Palabras clave: Charles Darwin, enfermedad de Chagas, intolerancia a la lactosa, enfermedad de Crohn, depresión, neurosis de ansiedad.

Key words: Charles Darwin, Chagas' disease, lactose intolerance, Crohn's disease, depression, anxiety neurosis.

Recibido: 20 de agosto de 2009, aceptado: 20 de octubre de 2009

¹ Servicio de Anatomía Patológica del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, cajal61@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Gracias a sus diarios y a las numerosas cartas que escribió a colegas, amigos y familiares, Charles Darwin es posiblemente uno de los científicos de quien conocemos más detalles sobre su vida personal. De la ingente cantidad de documentos que atesoró a lo largo de los años, en 1985 se empezó a editar *La correspondencia de Charles Darwin*, misma que en 1991 había llenado ya siete volúmenes y que en la actualidad ha sido revisada en su primera mitad. *Los apuntes de Charles Darwin* fueron transcritos en 1987 y ocupan un volumen de 750 páginas (6). Por ello, y ante la importancia de sus aportaciones científicas, siempre ha llamado la atención el aparente mal estado de salud que padeció por varias décadas, en especial a partir de la segunda mitad de su existencia. Entre 1849 y 1855, Darwin registró minuciosamente sus síntomas en un *Diario del estado de salud*, lo que hoy nos permite conocer con cierto detalle las percepciones que él mismo tenía sobre su padecimiento. Desde su época hasta la actualidad, su enfermedad o enfermedades han resultado un enigma para todo tipo de médicos y estudiosos de su vida (4).

Panorama general de la historia médica de Charles Darwin:

Dentro de los antecedentes familiares patológicos de Charles Darwin, se sabe que su abuela paterna, Mary Darwin, padeció de cálculos biliares y episodios transitorios de una psicosis orgánica aparentemente relacionada con la enfermedad biliar. Su hijo menor, Robert Darwin –padre de Charles– sufrió de gota en la novena década de su vida. La esposa de Robert Darwin y madre de Charles, Susannah Wedgwood, murió a los 52 años con un cuadro de dolor abdominal califica-

do como peritonitis. Tanto por la rama paterna como por la materna se sabe de varios parientes con trastornos depresivos (3, 4).

Se podría decir que, desde el punto de vista médico, la vida de Charles Darwin se compone de las siguientes etapas:

1.- Hasta los veinte años de edad sus principales molestias fueron lo que él mismo denominó "ataques de fatiga", parestesias (sensibilidad anormal) en las manos y erupciones cutáneas y labiales. En general, estos trastornos fueron transitorios y no incapacitantes. Los "ataques de fatiga" eran desencadenados tanto por experiencias placenteras como la caza o el escuchar música, como por situaciones desagradables, como la contemplación de operaciones quirúrgicas o el maltrato de los animales. Las lesiones cutáneas solían aparecer en condiciones de tensión emocional, lo que al tímido Charles Darwin mortificaba bastante (9).

2.- Viaje en el *Beagle* (1831-1836). Esperando para zarpar en el puerto de Plymouth, Darwin refirió sentirse profundamente abatido, notó palpitaciones y sintió mucho temor de tener una enfermedad cardíaca, sin embargo, una vez a bordo, este episodio no volvió a presentarse. Con el bamboleo del barco padeció intensos mareos, pero pudo realizar sus labores científicas a pesar de ello. En 1834, mientras visitaba una mina de oro en Chile, tomó unos tragos de chicha, un fermentado de maíz. Pocas horas después, empezó con un cuadro febril, fue trasladado a Valparaíso y tratado allí por Benjamin Bynoe, el cirujano del *Beagle*. Estuvo enfermo del 20 de septiembre a finales de octubre y se piensa que padeció fiebre tifoidea (4). Del 25 al 26 de marzo de 1835, pernoctando en Luján, provincia de Mendoza, Argentina, fue picado por una vinchuca, el gran escarabajo negro de las Pampas (*Triatoma infestans*). Como se verá más adelante, este episodio parece que tuvo mucha importancia en la salud futura de Charles Darwin (5).

3.- Vida después de la travesía (1837-1882). En este periodo apareció el conjunto de trastornos a los que llamamos su enfermedad, mismos que empezaron alrededor de 1840 y que consistieron en fatiga, distensión abdominal seguida de eructos o ventosidades, náuseas, vómitos, palpitaciones, cefaleas y aspecto eczematoso de la piel. Estas alteraciones se

presentaron en combinaciones variables, tuvieron una duración diversa y fueron claramente incapacitantes, obligándolo a tomar reposo durante varios días, semanas o incluso meses, por lo que sólo dedicaba dos o tres horas del día para realizar sus actividades científicas y preparar sus publicaciones (4).

Hipótesis sobre la enfermedad de Charles Darwin:

Los problemas de salud de Charles Darwin fueron un verdadero enigma para los más de veinte diferentes médicos que lo atendieron a lo largo de su vida, algunos muy famosos, incluyendo a su propio padre, el doctor Robert Darwin, a William Brinton, Henry Bence Jones y Andrew Clark (7). Desde que Charles Darwin falleció el 19 de abril de 1882, empezaron las conjeturas en torno a la naturaleza de su enfermedad y desde entonces diferentes autores han publicado sus hipótesis sin que en la actualidad se haya despejado el misterio.

En principio y de manera arbitraria, se pueden clasificar todas las opiniones en dos grandes categorías: los trastornos psicológicos y las alteraciones orgánicas.

Trastornos psicológicos:

El psicoanalista norteamericano Edward Kempf señaló en 1920 que Darwin tenía una neurosis de ansiedad que se había originado como una reacción a la influencia represiva de su padre (4). Walter Alvarez publicó en 1959 que Darwin padecía una forma leve y hereditaria de depresión y se apoyó en los antecedentes familiares señalados en la sección precedente y en algunas de las manifestaciones similares a las suyas que tuvieron sus descendientes (1). Otros autores como Arthur Keith, Douglas Hubble, Phyllis Greenacre, R. G. Graber, L. P. Miles, John Bowlby, Thomas Barloon y Russell Noyes consideraron que el origen de las manifestaciones clínicas de Darwin era primordialmente psicológico o resultado de una enfermedad psiquiátrica. También se ha señalado insistentemente el conflicto interno que le provocaron sus ideas evolucionistas y ateas, especialmente en relación a su muy devota esposa Emma y el temor a las repercusiones que estas ideas pudieran tener en la Inglaterra victoriana de su tiempo (4, 8).

Alteraciones orgánicas:

Se han postulado una lista numerosa de enfermedades orgánicas para explicar el cuadro clínico

de Charles Darwin. Entre ellas destaca la enfermedad de Chagas, propuesta por el parasitólogo israelí Saúl Adler en 1959 y que se basa en el antecedente de la picadura por el *Triatoma infestans*, vinchuca o chinche gaucha que Darwin sufrió en 1835. El 70% de los triatomas son portadores del *Trypanosoma cruzi*, parásito unicelular y agente causal de la enfermedad de Chagas. Las chinches pican, se alimentan de sangre e inmediatamente defecan, liberando en sus heces el parásito que puede ingresar en el organismo humano a través del orificio de la picadura. Una vez dentro, el tripanosoma invade las células musculares del corazón y las neuronas que normalmente regulan el movimiento y las secreciones del tubo digestivo. Al destruir de manera selectiva las neuronas del sistema nervioso parasimpático, el enfermo se vuelve muy susceptible a la estimulación simpática que ocurre en situaciones de estrés físico y psicológico. Eso explicaría el hecho de que los síntomas de Charles Darwin aparecieran o se empeoraban bajo esas circunstancias. De igual manera, si se considera que la forma crónica de la enfermedad de Chagas puede ocurrir con pocas o nulas manifestaciones agudas, tener un curso autolimitado y afectar solamente el tubo digestivo con escasa repercusión cardíaca, se podrían explicar razonablemente las manifestaciones cardinales referidas por Darwin y sus biógrafos, es decir, las náuseas, los vómitos, la distensión abdominal, los eructos y las flatulencias. De igual manera, ante el padecimiento final que lo llevó a la muerte y que parece corresponder a una falla de la función cardíaca, la hipótesis de la enfermedad de Chagas parece reforzarse. Sin embargo, A.W. Woodruff, un parasitólogo inglés, publicó durante la década de los 60 del siglo pasado las siguientes objeciones a la hipótesis de la enfermedad de Chagas:

- 1.- El *Triatoma infestans* que picó a Darwin pudo no ser el portador del *Trypanosoma cruzi* y, de serlo, tal vez no se lo transmitió a Darwin.
- 2.- No existen registros en los Archivos del Almirantazgo Británico de que otros miembros de la tripulación de Beagle hubiesen padecido la enfermedad de Chagas.
- 3.- Es dudoso que alguien con esta enfermedad tenga manifestaciones digestivas sin afección cardíaca.
- 4.- Ya que Darwin tuvo una condición física lo suficientemente buena para realizar paseos cotidianos sin fatigarse, es poco probable que padeciese la forma cardíaca de la enfermedad de Chagas.

- 5.- El que sus síntomas empeorasen con el estrés y el que sus condiciones generales mejorasen en los últimos diez años de su vida, sugiere que la enfermedad de Darwin tenía posiblemente un origen psicossomático en lugar de orgánico.
- 6.- Darwin sufrió flatulencia antes de que pudiese haber sido infestado con el *Trypanosoma cruzi*.

Woodruff concluyó que Darwin tuvo "un estado de ansiedad con rasgos obsesivos y manifestaciones psicossomáticas". Sin embargo, debe señalarse en oposición a estas objeciones que Woodruff no tomó en cuenta las formas atípicas o parciales de este padecimiento y que han sido bien descritas (2, 4).

Además de lo mencionado, a lo largo de los años se han señalado otras hipótesis para tratar de explicar la enfermedad de Charles Darwin desde el punto de vista puramente orgánico. Entre ellas, destacan la brucelosis crónica, la toxicidad por los medicamentos que Darwin tomó para tratar sus molestias, en especial el arsénico y el mercurio, el lupus eritematoso, la dermatitis atópica, el síndrome de la intolerancia sistémica a la lactosa y la enfermedad de Crohn (4).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo a Ralph Colp, el primer artículo dedicado exclusivamente a la discusión del origen de la enfermedad de Charles Darwin fue escrito por el Dr. William W. Johnston, profesor de teoría y práctica de la medicina de la Universidad de Columbia, en Washington, D.C. El Dr. Johnston se basó en los datos publicados en 1887 por el hijo de Darwin, Francis, bajo el título de *Vida y cartas* y concluyó que Darwin "sufría de neurastenia crónica grave". Este diagnóstico, que hoy ya no se utiliza y que se refiere a una especie de agotamiento del sistema nervioso, ilustra una de las dificultades principales para esclarecer el misterio de la enfermedad o enfermedades que padeció Charles Darwin. La terminología médica de la época no corresponde siempre a la que se utiliza hoy e incluso algunos diagnósticos contenidos en los documentos de aquel entonces tienen un significado distinto en la actualidad. El propio Francis Darwin utilizó la palabra *sickness* como sinónimo de vómito.

La hipótesis de la enfermedad de Chagas, aunque atractiva, es muy difícil de demostrar.

Para empezar, la condición fue reconocida y descrita hasta 1909, por lo que los médicos contemporáneos de Darwin no la conocían y no pudieron investigarla ni diagnosticarla. Nuestros esfuerzos para demostrar esta hipótesis son lógicamente retrospectivos y en una enfermedad con manifestaciones clínicas tan poco específicas, con pruebas diagnósticas de laboratorio que no existían en los tiempos de Darwin, las demostraciones inobjetables quedan fuera de nuestro alcance. Lo mismo puede decirse de las otras posibilidades ya mencionadas. Además, no existe un estudio *posmortem* que, de haberse realizado, nos aportaría datos muy valiosos para comple-

mentar y ordenar la información clínica actualmente disponible.

El examen panorámico de su biografía y, particularmente, de su historia médica, sugieren el concurso o combinación de trastornos psicológicos, que influyeron desencadenando o modificando sus síntomas y las alteraciones orgánicas. Por lo manifestado en las líneas precedentes, el dilema sobre la enfermedad o enfermedades de Charles Darwin está vigente y las diferentes hipótesis emitidas hasta ahora siguen siendo objeto de una controversia que no se ha logrado resolver.

REFERENCIAS

1. ALVAREZ W. *The nature of Charles Darwin's lifelong ill-health*, *The New England Journal of Medicine*. 261, 1109-1112, 1959.
2. BERNSTEIN R E, *Darwin's illness: Chagas' disease resurgens*, *Journal of the Royal Society of Medicine*. 77, 608-609, 1984.
3. BROWNE J, *Charles Darwin. Voyaging*. Primera edición, Estados Unidos de Norteamérica: Princenton University Press, 18 -19, 1995.
4. COLP R, *Darwin's illness*. EUA: University Press of Florida, XIV, 2008.
5. DARWIN C, *Voyage of the Beagle*. Estados Unidos de Norteamérica: Penguin Books, 251 pp., 1989.
6. DESMOND A y MOORE J, *Darwin. The life of a tormented evolutionist*. EUA: W.W. Norton, XIX, 1991.
7. MEDAWAR P B, *Darwin's illness en The strange case of the spotted mice and other essays on science*. Gran Bretaña: Oxford University Press, 52-58, 1996.
8. QUAMMEN D, *The reluctant Mr. Darwin. An intimate portrait of Charles Darwin and the making of his theory of evolution*. EUA: Atlas Books, W.W.Norton & Company, 20-51 y 153-204, 2006.
9. THOMPSON K. *Darwin's enigmatic health*, *American Scientist*. 97, 198, May-June 2009.

Definición de la aptitud de agua para riego en un agroecosistema del Sur de la Provincia de Córdoba, Argentina

María Laura Gomez ¹

RESUMEN

La creciente demanda de agua del acuífero libre para riego suplementario en la zona rural de Coronel Moldes, ha aumentado la necesidad de conocer su aptitud para tal uso. Según la clasificación de Riverside (*US Salinity Laboratory*) el agua del acuífero resultó mayormente "inapropiada" por altos valores de Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y salinidades. Según la clasificación de la FAO, el agua del acuífero fue de "sin restricción" a "restricción ligera o moderada", incluso en casos con un RAS > a 20 y altas salinidades. La introducción de sodio y otros cationes en la solución del suelo puede imponer un estrés en los cultivos, afectar la estructura del suelo, permeabilidad y las características químicas del agua subterránea. Es fundamental considerar estudios integrados edafo-climáticos que junto a la calidad del agua para riego, permitan definir prácticas de manejo sustentables.

ABSTRACT

The demand of groundwater for irrigating use has been increasing in rural area of Coronel Moldes. The aim of this work was to evaluate its aptitude for irrigation use. Riverside classifications indicate that groundwater result "inappropriate" for irriga-

Palabras clave: Agua subterránea, aptitud para riego, pampa argentina, RAS.

Key words: Groundwater, irrigation water quality, Chacopampean plain, SAR.

Recibido: 17 de junio de 2009, aceptado: 24 de agosto de 2009

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (CONICET-IANIGLA), lgoomez@mendoza-conicet.gov.ar

tion, even for High Sodium-Adsorption ratio (SAR) and electrical conductivities values. FAO classifications indicate "no restrictions" or "slightly restrictions" even with SAR >20 and very high electrical conductivities values. It's very well the effect of soil salinisation and sodification risks for the use of inadequate irrigation water and partial studies. It is fundamental to consider integrated studies edafo-climatic and the water irrigation quality, that allow to define sustainability practices.

INTRODUCCIÓN

El Sur de la provincia de Córdoba, Argentina, integra parte de la llamada llanura chaco-pampeana y posee una economía basada en las actividades agro-ganaderas. En la zona rural de Coronel Moldes (Figura 1) la agricultura y la ganadería son prácticas comunes desde hace más de 100 años y la presión sobre los recursos ha tenido un aumento exponencial en los últimos años. El mayor porcentaje del área es usada para el cultivo de soja, maíz y maní, representando el 80 % de todos los cultivos. El resto del área es ocupada por la ganadería y los cultivos de girasol y alfalfa.

Las condiciones climáticas, esto es, la ocurrencia de años con meses muy secos y pérdida hídrica, junto con las demandas del mercado nacional e internacional, han llevado a que muchos productores implementen el sistema de riego suplementario con equipos de aspersión, a partir del agua subterránea dado que es el único recurso hídrico disponible, incluso para el consumo humano.

El objetivo del estudio se basa en la clasificación del agua del acuífero libre para riego, según dos de las clasificaciones más usadas, Riverside

(Richards, 1954) y FAO (Ayers y Westcott, 1985), así como la comparación de los resultados obtenidos de cada método. Estas clasificaciones son las más utilizadas y difundidas en Argentina en el asesoramiento a productores tanto del ámbito privado como de los centros de investigación y servicios públicos.

Se intenta demostrar la limitación que puede ocurrir al definir la aptitud de aguas para riego únicamente desde las características químicas y cómo esto puede limitar una práctica eficiente y sustentable de los recursos. El estudio pretende aportar información necesaria en la tarea de clasificación de aptitudes de usos apropiados e integrales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo los objetivos se realizaron estudios meteorológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos del agua subterránea del acuífero libre en un área de 440 km² (Figura 1). Se determinaron análisis de texturales y de capacidad de intercambio catiónico a suelos y sedimentos de la zona.

El análisis físico-químico de las muestras de agua incluyó la determinación de pH, conductividad eléctrica y de componentes mayoritarios (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2}).

El recurso hídrico subterráneo fue clasificado utilizando el conocido diagrama del Laboratorio de Salinidad de Riverside para riego definido por Richards (1954) y la clasificación de la FAO desarrollada por Ayers y Westcott (1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Localización del área y características generales:

El área de estudio se localiza al Sur de la provincia de Córdoba, entre los 33° 30' y 33° 40' latitud Sur y 64° 30' y 64° 45' longitud Oeste (Figura 1). Abarca 440 km² y se eleva en promedio unos 400 m sobre el nivel del mar.

Según la clasificación de Thornthwaite (1948) el clima de la zona es del tipo Mesotermal (media de 16 °C) subhúmedo-húmedo con nula a pequeña deficiencia de agua. La precipitación media anual para una serie de 111 años (1896-2007) es de 831 mm y con una evapotranspiración real de 719 mm/año. Alrededor del 80% de las precipitaciones ocurren durante los meses de octubre y abril, marcando la clara estacionalidad del clima para esta zona. Durante el periodo más lluvioso la distribución de las precipitaciones es irregular ocurriendo meses de alta necesidad de agua, aunque los más importantes ocurren durante los meses de invierno, registrándose aquí los mayores déficits.

Estudios del INTA Manfredi (Gorgas y Tassile, 2003) señalan que los suelos de la zona rural de Coronel Moldes corresponden a Haplustoles údicos, Haplustoles típicos y Agiustoles. Estos suelos son franco arenosos, profundos (más de 100 cm), con moderada capacidad de intercambio de bueno a algo excesivamente drenados.

El acuífero libre está conformado por sedimentos arenosos finos-limosos de origen eólico, se extiende hasta los 45-60 m de profundidad y la profundidad del nivel freático varía entre los 2,6 y

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

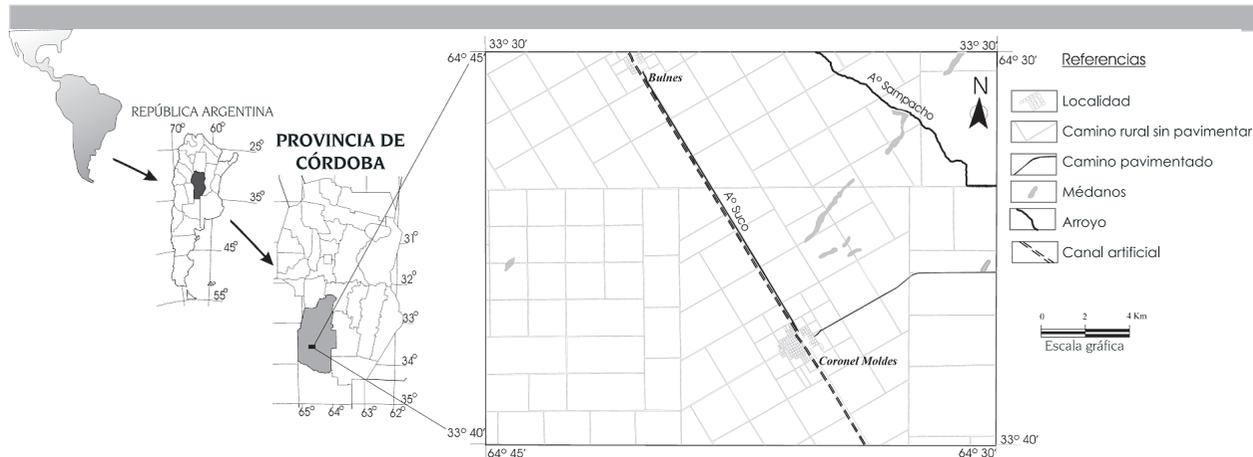


Tabla 1. Parámetros estadísticos de muestras extraídas del acuífero libre en la zona rural de Coronel Moldes.

Parámetro	Unidad	Min	Máx	Promedio	Desv. Est.	Coef. Desv.
pH		7.31	8.85	7.87	8.00	101.70
Cond	uS/cm	994	3130	1985	484.77	24.42
Temp	°C	12.5	23.7	20.45	2.22	10.86
Na ⁺	mg/l	235	687	455	120.55	26.47
K ⁺	mg/l	5.7	18.0	10.2	2.5	24.10
Ca ⁺²	mg/l	3.2	50.4	22.5	11.8	52.42
Mg ⁺²	mg/l	3.9	62.9	15.1	10.1	66.73
HCO ₃ ⁻¹	mg/l	460.0	912.5	629.1	115.8	18.40
CO ₃ ⁻²	mg/l	0.0	46.1	4.9	10.7	213.83
Cl ⁻	mg/l	28.6	368.6	152.6	80.4	52.68
SO ₄ ⁻²	mg/l	35.4	601.5	262.6	166.9	63.55

14 m. Es común la presencia de niveles entoscados (cementados con CaCO₃) discontinuos y a diferentes profundidades.

La composición química del agua es predominantemente bicarbonatada sódica y bicarbonatada-sulfatada sódica, resultando, en general, aguas dulces con conductividad eléctrica (CE) menor a 3130 µS/cm (Tabla 1).

Todas las muestras analizadas (38) presentan como catión dominante al Na⁺ (Tabla 1). La abundancia relativa de los cationes en el agua subterránea es Na⁺ > Ca⁺² > Mg⁺² > K⁺ y el Na⁺ representa el 90% del total de éstos. El Ca⁺² y el Mg⁺² representan el 8% del total de los cationes y provienen del proceso de disolución de carbonatos junto con los procesos de meteorización de los silicatos (anfíboles, piroxenos y plagioclasas) integrantes del loess (Gómez, 2009). Junto a estos procesos se dan aquellos de intercambio con las arcillas, especialmente con la illita y montmorillonita (Ortolani, 2007). Ambos elementos, Ca⁺² y Mg⁺², son capturados por las arcillas ricas en Na⁺ y K⁺, resultando en un aumento de Na⁺ y K⁺ en el agua subterránea.

Los procesos de intercambio iónico son importantes para las plantas y el control hidroquímico del agua subterránea, por lo que su determinación fue necesaria. Dado que los procesos de intercambio afectan principalmente a los cationes es por ello que se habla de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Los valores de CIC para los sedimentos de esta zona resultaron entre 15,1 y 17,8 meq/100gr.

Aptitud para riego

Los criterios más importantes que definen la calidad de agua para riego y su asociación con el peligro potencial para los cultivos son salinidad,

sodicidad y toxicidad (Richards (1980), Suárez (1981), Pizarro (1985) y Ayers y Westcott (1985).

La salinidad determina los efectos de las sales en el crecimiento de los cultivos que son en su mayoría osmóticos y están relacionados a la concentración total de sales. La sodicidad está relacionada a la excesiva cantidad de sodio intercambiable en el suelo lo cual produce un deterioro de la permeabilidad y de la estructura del suelo, mientras que la toxicidad hace referencia a que algunos solutos tienen efecto tóxico directo sobre los cultivos.

La CE y el Na⁺ son dos parámetros fundamentales que definen la aptitud del agua para riego. El alto contenido de sales en el agua de irrigación genera un aumento de la presión osmótica en la solución del suelo, disminuyendo la adsorción de agua por parte de las plantas. Las sales, además de afectar directamente el crecimiento de las plantas, afecta la estructura del suelo, su permeabilidad y estructura, afectando indirectamente el crecimiento de la planta (Douchafour, 1984).

El Na⁺ en altas concentraciones en agua de riego genera una peligrosidad sódica dada por un aumento de este elemento en las posiciones de intercambio de las arcillas destruyendo la estructura del suelo, debido a la dispersión de las mismas (Douchafour, 1984). Como resultado, el suelo se vuelve relativamente impermeable y puede llegar a ser muy difícil su cultivo.

La clasificación de agua para riego de Richards (1954) considera la peligrosidad sódica y salina a partir del índice RAS y el valor de conductividad eléctrica (expresada en µS/cm) respectivamente. La peligrosidad sódica mide la relación de Na⁺ respecto a la de Ca⁺² según la relación de

adsorción de sodio (*sodium-adsorption ratio*) o RAS (Relación de Adsorción de Sodio):

$$RAS = Na^+ \div [(Ca^{+2} + Mg^{+2}) \div 2]^{0.5}$$

El diagrama que relaciona la salinidad y el RAS y define su aptitud para riego se presenta en la Figura 2.

El otro método desarrollado por Ayers y Westcott (1985) para la FAO también se basa en los valores de RAS y CE aunque con intervalos y categorías de clasificación diferentes (Tabla 2), permitiendo valores de RAS superiores en relación a la otra clasificación.

Según la clasificación de Riverside el agua subterránea de Coronel Moldes se ubica en los campos C3S2, C3S3, C4S4, C4S2, indicando calidades "Buena a Regular", esto sería, aptas pero con precauciones, y "Regular a Mala", esto es, inapropiada, dada por su media a alta peligrosidad salina y su media a alta peligrosidad sódica (Figura 2). Según esta clasificación, el alto contenido en sales y de sodio determina que dichas aguas no sean aptas para riego, siendo mayormente importante en suelos con drenaje limitado.

La clasificación de agua para riego según el laboratorio de Riverside se basa en criterios establecidos para zonas áridas y semiáridas de EE.UU. y es muy exigente para zonas más húmedas donde se aplica menos agua con riego complementario y si existe un exceso de agua, ésta lava las sales en caso de acumularse al usar agua con alto contenido en sales (Baccaro *et al.*, 2006). Aunque, según estos autores, las aguas de condición dudosa en cuanto a salinidad podrían usarse siempre que se realice un monitoreo anual de sales en la zona de las raíces. Por su parte, Báez (1999) sostiene que puede ocurrir que la presencia de las aguas sódicas presenten peligro potencial, por el hecho de que el lavado de suelo con agua de lluvia no es tan efectivo para desplazar al sodio como ocurre con las sales.

Otro parámetro que debe integrarse a la clasifica-

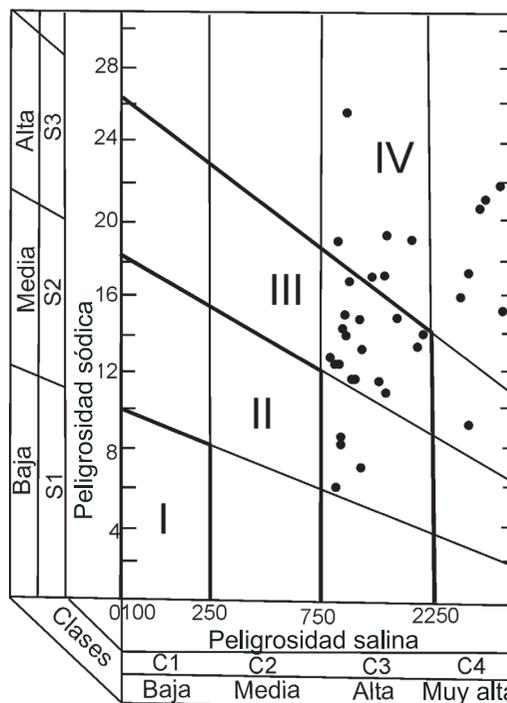


Figura 2. Diagrama para la clasificación del agua para riego (Laboratorio de Salinidad de EEUU). Agua subterránea acuífero libre Coronel Moldes. Clase I: Aptitud excelente. Clase 2: Aptitud buena. Clase 3: Aptitud buena a regular. Clase 4: Aptitud regular a mala.

ción es el del carbonato de sodio residual (CSR-tiene en cuenta los contenidos de carbonatos y bicarbonatos) dado que en los suelos, el agua puede precipitar o disolver carbonato de calcio agravando o disminuyendo con ello su peligrosidad por sodio (U.S. Salinity Laboratory, 1964, 1965; Báez, 1999, entre otros). Las aguas de la zona, principalmente, bicarbonatadas sódicas pueden producir la precipitación de carbonato de cal-

Tabla 2. Clasificación de las aguas según la salinidad (CE) y Relación de Adsorción de Sodio (RAS) del agua de riego (FAO, 1985).

	GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO		
	Ninguno	Ligero o moderado	Severo
Problema potencial: SALINIDAD			
CE	< 0,7	0,7 - 3,0	< 3,0
Problema potencial: INFILTRACIÓN			
RAS entre 0 y 3 y C. E.=	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
RAS entre 3 y 6 y C. E.=	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
RAS entre 6 y 12 y C. E.=	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
RAS entre 12 y 20 y C. E.=	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
RAS entre 20 y 40 y C. E.=	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9

cio, aumentando la concentración de sodio del suelo, con el riesgo de alterar su estructura y, consecuentemente, la permeabilidad del mismo.

Según Báez (1999) aún con valores relativamente bajos de sodio de intercambio pueden inducir a una dispersión con encostramiento superficial, principalmente, cuando ingresa al suelo agua de muy bajo contenido salino, como es el caso del agua de lluvia.

Las mismas muestras calificadas para riego según la FAO (Ayers y Westcott, 1985) (Tabla 2) resultaron en una clasificación entre "ninguna restricción" a "ligera o moderada" incluso en casos con un RAS > a 20 y altas salinidades. Para hacer una interpretación más amplia, deben señalarse los estudios realizados por el INTA Pergamino (2006) en la región pampeana, a partir del cual las clasificaciones de aguas para riego utilizadas en este estudio como único criterio, resultarían inadecuadas. Los estudios señalan que la aptitud del agua para suelos con las mismas características (con CIC entre 15 y 17 meq/100 gr franco limosos en superficie, materia orgánica = 1,5–2%) y las mencionadas condiciones climáticas, las aguas con RAS < 5 se consideran aceptables, con un RAS = 5 – 10 dudosas y para RAS > 10 de alto riesgo. Si se observa, contradictoriamente, según la clasificación de Riverside, estos valores de RAS se encuentran dentro de la categoría de "baja peligrosidad sódica". Por su parte, los estudios del INTA también señalan para estos suelos la dudosa aptitud de riego con aguas con CE > a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Si se observan ambas clasificaciones, para un mismo valor de CE (supóngase un promedio de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y un RAS promedio de 16 para el agua de la zona, según la clasificación del laboratorio de Riverside se consideraría inapropiada, mientras que según la FAO resultaría en un grado de restricción ligero a moderado. Debe considerarse que la introducción de sodio y otros cationes en la solución del suelo puede imponer un estrés en los cultivos disminuyendo sus rendimientos. Aunque, por otro lado, Baccaro *et al.* (2006) señalan que algunos cultivos pueden producir rendimientos aceptables a niveles de salinidad relativamente altos (hasta 6500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Si se observan los rangos de aptitud definidos en Riverside puede verse que ésta considera un agua excelente para riego para salinidades y RAS que, considerando estos intervalos en el cuadro de clasificación de la FAO, presentan una restricción

severa. A su vez, esta última no impone restricciones en aguas con CE > a 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y RAS entre 20 y 40. Además, debe tomarse en consideración que cada clasificación considera umbrales diferentes, vinculado esto al propósito y a las condiciones climáticas bajo las cuales fueron definidas.

Con lo anteriormente expuesto, queda claro que la definición de aptitud de agua para riego basada únicamente en clasificaciones según las características químicas resultan en una mirada parcial y limitada de las aptitudes y necesidades del sistema suelo-planta.

En ésta parte del país se ha vuelto una práctica común en la asesoría a productores, tanto desde ámbitos privados como públicos, el definir aptitudes del agua para riego a partir de una mirada exclusiva desde las características químicas sin que éstas sean integradas al complejo sistema suelo-planta-agua.

Estudios de Vázquez *et al.* (2006) sobre la sustentabilidad del riego en suelos de otras partes de la pampa argentina indican que los procesos de salinización/sodicidad encontrados en algunos sitios dependen de las características propias de cada agroecosistema y que las clasificaciones de aptitud de agua no reflejan estos procesos.

Los estudios demuestran que es necesario conocer las características edafo-climáticas de la zona junto a la calidad del agua para riego a fin de poder definir la aptitud de un agua y asegurar prácticas de manejo sustentables en condiciones tales que el aumento en la demanda nacional e internacional de productos alimentarios generan una mayor presión sobre los recursos naturales.

CONCLUSIONES

En el manejo de los sistemas agropecuarios, y la definición de prácticas suplementarias de riego, requiere además de los estudios propios del agua (su cantidad y calidad), de un análisis integrado de las características edafo-climáticas, que no sólo se base a los requerimientos hídricos de una región, sino en las necesidades edáficas y fisiológicas existentes.

Las clasificaciones empleadas reflejan límites de aptitud diferentes pudiendo provocar problemas de salinidad y sodicidad en el recurso suelo cuando la definición de su aptitud se

basa únicamente en las características físico-químicas del agua. La disparidad en las clasificaciones de Riverside y FAO, es originada por las condiciones edafo-climáticas para las cuales fueron desarrollados dichos criterios y pone en evidencia la invalidez de su extrapolación, sin ajustes locales (Vázquez *et al.*, 2006) debiendo incluirse estudios vinculados a las características texturales, climáticas y fisiológicas del cultivo.

Un conocimiento acabado de los factores que intervienen en la práctica del riego suplementa-

rio, permitirá brindar recomendaciones prácticas por parte de quienes trabajan en el manejo de los recursos y promueven la agricultura en un marco de desarrollo sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por subsidiar la investigación.

REFERENCIAS

- AYERS, R.S. Y WESTCOTT, D.W. *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1, Roma, 174 pp., 1985.
- BACCARO, K. *et al.*, Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata. *RIA*, 35 (3): 95-110, 2006.
- BÁEZ, A. *Efecto de la calidad del agua de riego sobre las propiedades del suelo*. INTA Balcarce. 53 pp., 1999.
- DOUCHAFOUR, P. *Edafogénesis y clasificación*. Barcelona: Masson, 450 pp., 1984.
- FAO. *Water quality for agriculture, irrigation and drainage*. Technical paper N° 29. Rome, Italy, 1985.
- GOMEZ, M. L. "Modelado geoquímico de contaminantes procedentes de efluentes urbanos e industriales en el acuífero clástico del área de Cnel Moldes, Córdoba". Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis de Doctorado, 290 pp., 2009.
- GORGAS, J. A. Y J. L. TASSILE. *Recursos naturales de la provincia de Córdoba: Los Suelos*. INTA Manfredi, 150 pp., 2003.
- ORTOLANI, C. *Estratigrafía del Cuaternario del tramo medio del arroyo Achiras del Gato, Cba*. UNRC, 94 pp., 2007.
- PIZARRO, F. *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Agrícola Española, S.A., 542 pp., 1985.
- RICHARDS, L.A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agricultural Handbook 60, 160 pp., 1954.
- SUÁREZ, D.L. Relation ship between pH. and SAR and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage water. *Soil Science Society American Journal* 45: 469 – 475, 1981.
- THORNTHWAITE, A. *An approach towards a rational classification of climate*. *Geographic Review* 38 (1), 221-229, 1948.
- VÁZQUEZ, M.; G. MILLÁN y P. GELATI. Efecto del riego complementario sobre la salinidad y sodicidad de diferentes suelos del NO y Centro-E de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 57-67, 2006.

DICTIOTOPOGRAFÍA

- www.inta.gov.ar. 2006.

Diseño y fabricación de un aparato para el depósito de películas delgadas por el método de rotación

Iliana Ernestina Medina Ramírez ¹, Luis Enrique Arámbula Miranda ²
Felipe Rizo Díaz ², Alejandro Román Loera ²

RESUMEN

La técnica de rotación se emplea ampliamente para el depósito de películas delgadas de diversos materiales. Se diseñó y construyó un aparato doméstico para el depósito de películas delgadas basado en el método de rotación. El equipo es compacto y ofrece un control digital, amplio rango de velocidades (desde 1 hasta 7500 rpm), estabilidad, etc. Para la primera fase del depósito, el aparato está programado para acelerar uniformemente de cero a 400 rpm en 30 segundos y permanecer en esta velocidad durante un minuto. En la segunda fase, el usuario puede elegir las condiciones de operación; es decir, velocidad y el tiempo.

ABSTRACT

Spin-coating technique is a widely used coating method to produce thin films of numerous materials. A *spin-coater* apparatus was designed and built. The system offers digital control, wide speed range (from 1 to 7500 rpm), spin speed stability and compact size. The plate is spun in at least

Palabras clave: Depósito, películas delgadas, construcción, método de rotación, semiconductores.

Key words: *Deposition, thin films, spin coater, construction, spin coating, semiconductors.*

Recibido: 11 de marzo de 2009, aceptado: 4 de agosto de 2009

¹ Departamento de Química, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes, iemedina@correo.uaa.mx.

² Departamento de Sistemas Electrónicos, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes, arambula@correo.uaa.mx, frizo_uaa@yahoo.com.mx, aroman@correo.uaa.mx

two stages which may be programmed. During the first stage, the plate is spun uniformly from zero to 400 rpm, and rotates at 400 rpm for one minute. During the second stage, the operation conditions (speed and time) can be determined by the operator.

INTRODUCCIÓN

Desde su creación, uno de los principales objetivos de la química es el descubrimiento y desarrollo de nuevas sustancias. Los químicos han implementado nuevas maneras de manipular la materia a fin de producir materiales con propiedades únicas, (por ejemplo, los plásticos anteriormente clasificados como aislantes, hoy día son capaces de conducir electricidad) (Miller, J.S., 1983). En las últimas décadas, numerosas investigaciones han sido enfocadas al desarrollo y optimización de nuevos materiales; con esto se ha logrado la creación de dispositivos electrónicos (fotovoltaicos, emisores de luz, transistores, etc.) a partir de polímeros conductores (Mc Cullough, R.D., 2005).

El continuo desarrollo social depende del descubrimiento e implementación de nuevos materiales funcionales. Un material funcional es aquel cuya utilidad reside, no tanto en sus propiedades mecánicas, sino en sus propiedades químicas, térmicas, ópticas y/o eléctricas, (Wang, Z.L., 1998). Actualmente existen numerosos ejemplos de estos materiales como los magnéticos, semiconductores, piezoeléctricos, emisores de luz, etc. La producción de películas delgadas de diferentes materiales representa, en la actualidad, uno de los campos tecnológicos con mayores aplicaciones (Ohring, M., 2002).

Las películas delgadas son una clase de nanomateriales en los cuales dos de sus dimensiones caen dentro de la escala nanométrica ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Para ser consideradas dentro de esta categoría, deben de presentar un espesor en el rango de 1 a 100 nm. Estos materiales han sido utilizados en la fabricación de numerosos dispositivos con diversas funciones (celdas solares, transistores, foto-catalizadores, etc.). El óptimo funcionamiento de estos dispositivos depende, en gran medida, de las propiedades de las películas (estructura, tamaño, morfología, composición, nivel de defectos, etc.), las cuales están directamente relacionadas con el método empleado para su depósito. (Serp, P., 2002).

Las metodologías empleadas para la fabricación de películas delgadas han evolucionado ampliamente, permitiendo un depósito controlado de numerosos materiales. Existen diferentes criterios para clasificar las técnicas de depósito: **depósito a partir de vapores** (depósito físico de vapores, depósito químico de vapores), **depósito mediado por láseres** y **depósito a partir de solución** (depósito por el método de rotación, *dip-coating*, etc.) (O'Neil, S.A., 2003).

A pesar de las numerosas estrategias diseñadas para el depósito de películas delgadas, muchas de ellas requieren de equipo especializado costoso, hecho que limita su uso como herramienta experimental en laboratorios académicos. La técnica de rotación ha sido ampliamente utilizada para el depósito de materiales semiconductores, empleando un aparato simple conocido como *spin-coater* y una solución del material a depositar. Esta técnica consiste en depositar un exceso del material de interés sobre el sustrato; posteriormente, éste se hace girar a altas velocidades, para lograr la distribución uniforme del material sobre el mismo, gracias a la acción de la fuerza centrífuga. El método de rotación se ilustra en la figura 1. Dicho procedimiento involucra cuatro pasos, de los cuales, los tres primeros (depósito, *spin up* y *spin off*) ocurren en orden secuencial, mientras que el cuarto (evaporación) ocurre durante todo el proceso de preparación y es el principal mecanismo de adelgazamiento de la película al final del proceso (Kamalanathan, M.N., 1996).

El método de rotación inicia al colocar un exceso del material a depositar sobre el sustrato. El sustrato puede estar en reposo o girando a baja velocidad (menor a 500 rpm). El material se coloca en el centro del sustrato de manera manual o automática (dependiendo de las características del *spin-coater*). Se utiliza un exceso de material para asegurar la uniformidad de la película y evitar problemas de evaporación antes de alcanzar el espesor deseado. Posteriormente, el sustrato gira (*spin up*) de una manera uniformemente acelerada hasta alcanzar la velocidad deseada. Es en esta fase del proceso en la que el sustrato queda totalmente cubierto por el material a depositar. La velocidad de rotación propicia que el exceso de material se desplace a las orillas del sustrato; dicho exceso será posteriormente eliminado por la fuerza centrífuga.

La fase de *spin-off* inicia una vez que la velocidad de rotación deseada ha sido alcanzada. El aparato gira a dicha velocidad por un tiempo determinado (el cual es programado por el operador), logrando con esto el adelgazamiento y uniformidad de la película. El tiempo de rotación puede variar dependiendo de la densidad del material empleado y del espesor deseado de la película. El depósito por rotación finaliza con la evaporación del solvente. Como se mencionó anteriormente, el proceso de evaporación ocurre durante todo el proceso de formación de la película, debido a la evaporación del solvente ocasionada por las altas velocidades de rotación del *spin-coater*. No obstante, la evapora-

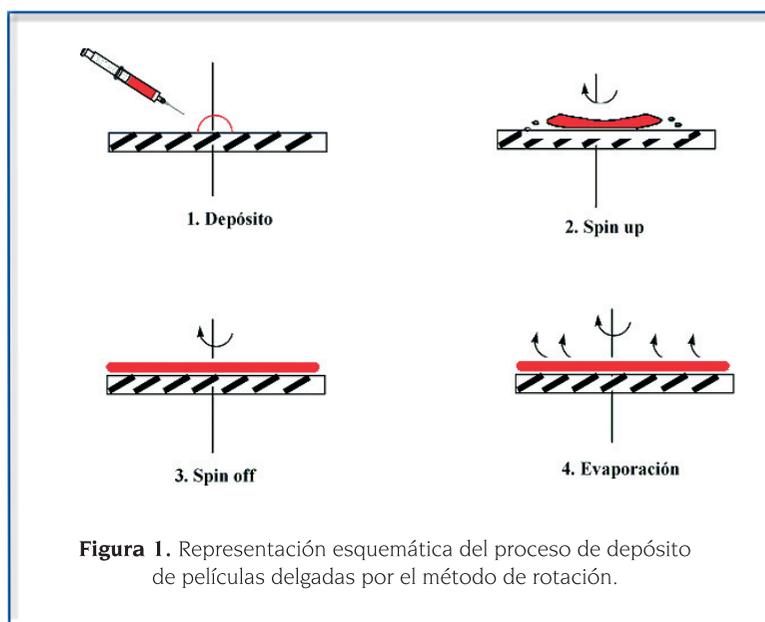


Figura 1. Representación esquemática del proceso de depósito de películas delgadas por el método de rotación.

ción final de la película generalmente se lleva a cabo mediante tratamiento térmico. La película se puede calentar en una mufla o en el mismo aparato, dependiendo de las características del mismo. El objetivo principal de la evaporación es retirar el exceso de solvente.

Un gran número de materiales han sido depositados empleando el método de rotación. El grosor de la película es fácilmente manipulado ya que éste es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la velocidad de giro. El grosor de la película también se puede ajustar mediante repetidas aplicaciones del material en el sustrato. Una de las principales ventajas del depósito por rotación es la sencillez del proceso, costo y manipulación del aparato. Las principales desventajas inherentes a esta técnica son el uso ineficiente de material a depositar y tamaño del sustrato (actualmente, sólo se pueden depositar películas de tamaño pequeño; tanto nuestro equipo como equipos comerciales, emplean sustratos de forma rectangular y dimensiones de 25.4 x 76.2 mm). Durante el proceso del depósito por el método de rotación, solamente una pequeña porción (del 2 al 5%) del material colocado sobre el sustrato es requerido para la fabricación de la película, el resto del material es eliminado al girar el sustrato. Este problema se agudiza si el costo y toxicidad del material es elevado (Schubert, D. W., 2003). Recientemente se ha explorado una nueva técnica basada en el método de rotación, conocida como extrusión *coating*, la cual permite optimizar el uso del material de recubrimiento. Esta técnica requiere de un accesorio adicional, el cual de manera automática coloca pequeñas cantidades de material a lo largo del sustrato, contribuyendo con esto a la optimización del proceso (Han, S., 2001).

El objetivo principal de este trabajo fue el diseño y construcción de un aparato doméstico para el depósito de películas delgadas por el método de rotación, el cual será posteriormente utilizado para el depósito de películas delgadas de materiales semiconductores (dióxido de titanio, calcogenuros de zinc).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo para depositar películas delgadas mediante la fuerza centrífuga. El diseño y construcción del equipo se descompone en dos etapas: **Módulo mecánico** y **módulo electró-**

nico. El módulo mecánico incluye el motor, el sistema de poleas, la superficie giratoria y una bandeja para evitar derrames. El módulo electrónico consta de la fuente de poder, un microcontrolador, manejadores de potencia para el motor, un exhibidor de cuarzo y botones para la interfase con el usuario. Para diseñar el equipo se propusieron las siguientes especificaciones:

1. Que la máquina gire a más de 6,000 rpm.
2. Que tenga una interfase de usuario para elegir las revoluciones y el tiempo que girará la máquina.
3. Que acelere de 0 a 400 rpm en 30 segundos y permanezca en esta velocidad durante un minuto
4. Que tenga rampas de aceleración y desaceleración controladas.
5. Que vibre lo menos posible.

Construcción:

A) Módulo de mecánica

Está formado por un motor y un rotor montado en baleros. Ambos son conectados usando una banda y poleas de nylamid con relación 1:6. La cuantificación de las vibraciones del prototipo implica un sistema especializado para la medición de vibraciones. No se cuenta con el equipo necesario para realizar un análisis de vibración, sin embargo, se ha tratado de minimizar las vibraciones mecánicas mediante un balanceo del disco principal y la implementación de soportes de goma que amortiguan dichas vibraciones. Además, el prototipo cuenta con una base de acero que le proporciona el peso necesario para evitar vibraciones excesivas. El motor es de marca *Buhler* de corriente directa de 24 volts, 50 watts y 1800 rpm. El rotor posee la polea en un extremo, y en otro, la plataforma donde se colocará el vidrio que gira hasta 10800 rpm, debido a que acopla con una polea seis veces menor en su diámetro que la polea directamente acoplada a la flecha. (Ver figura 2).

B) Módulo de control e interfase con el usuario

Consta de un microcontrolador ATmega8535 de la compañía *Atmel*, un exhibidor de cuarzo líquido de 20 x 2 caracteres, tres pulsadores y un manejador de potencia para el motor. En la figura 3 se muestra un diagrama de bloque del microcontrolador, mismo que es el corazón de este

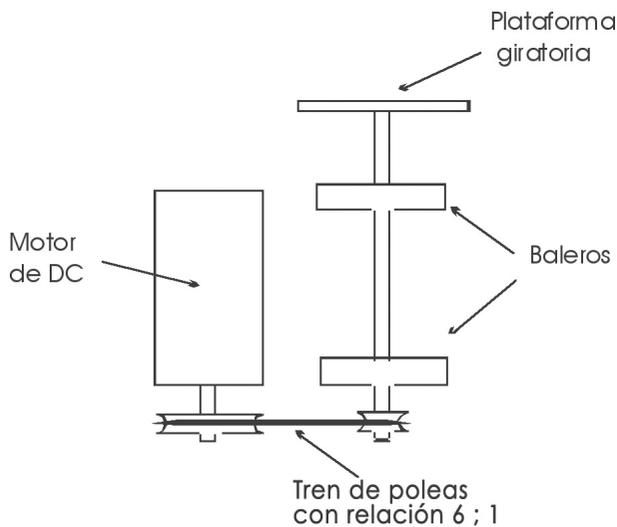


Figura 2. Diagrama del módulo mecánico.

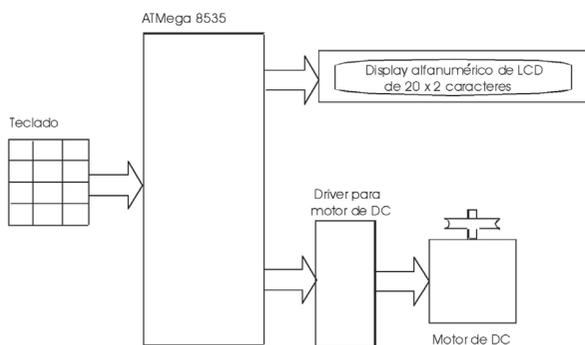


Figura 3. Diagrama de bloques del módulo de control e interfase con usuario.

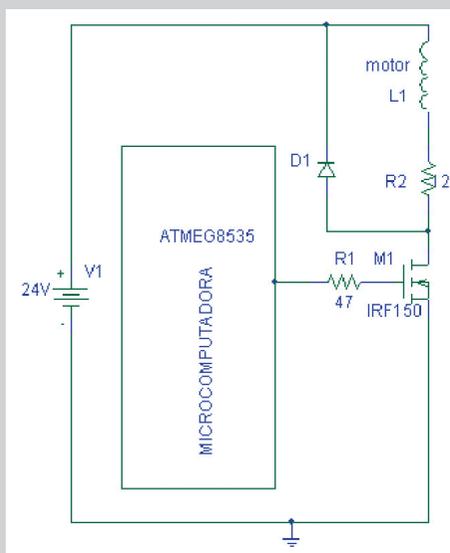


Figura 4. Diagrama esquemático del sistema de potencia.

módulo. Produce las rampas de ascenso y descenso, mantiene la velocidad constante y hace la interfase con el usuario. Dicha interfase permite conocer el estado del prototipo y ajustar la velocidad y el tiempo en que se desea gire la plataforma. Los mensajes que se despliegan son:

1. Spinner listo
2. Velocidad
3. Tiempo
4. Proceso finalizado

Finalmente, se diseñó el sistema de potencia para variar la velocidad del motor. Dicho sistema consiste en un transistor que impulsa eléctricamente al motor y usa una técnica de PWM (*Pulse Wide Modulation*) para variar la velocidad del motor y evitar restarle torque. El circuito para activar el motor de DC utiliza un transistor MOSFET de potencia IRF150, el cual se ilustra en la Figura 4.

RESULTADOS

Se logró obtener un prototipo que cumple los requisitos mencionados. En pruebas del laboratorio se decidió cambiar la velocidad final a 7,500 rpm, ya que dicha velocidad es suficiente para los requerimientos del usuario final. En la figura 5 se muestra el acomodo interno del prototipo visto sin una tapa lateral. La figura 6 muestra la tarjeta electrónica con el microcontrolador y LCD.

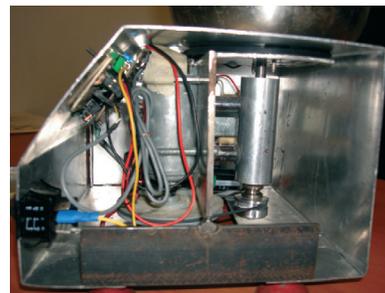


Figura 5. Vista interna del prototipo.

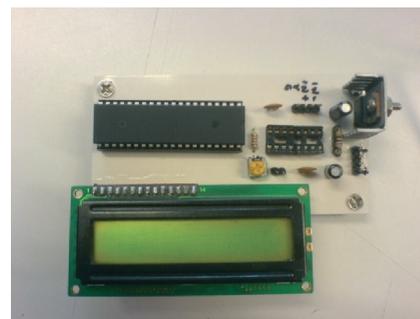


Figura 6. Tarjeta electrónica del prototipo.



Figura 7. Vista frontal del instrumento.

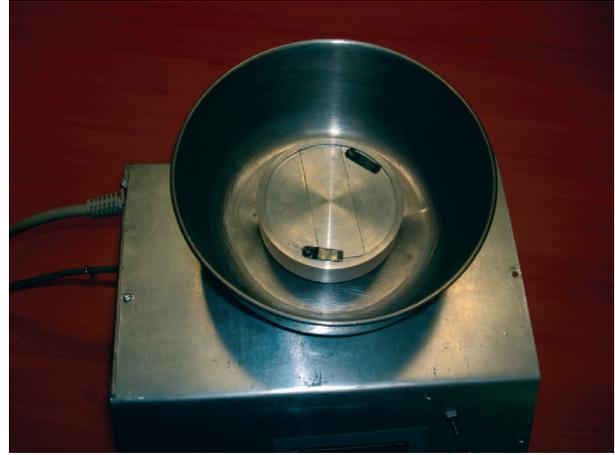


Figura 8. Vista superior. Se observa la platina de vidrio y los seguros para sujetarla.

Las figuras 7 y 8 muestran la parte exterior del instrumento. Observe que la platina de vidrio se encuentra rodeada de una vasija para evitar derrames.

Se realizaron varias pruebas para optimizar las diferentes variables de funcionamiento del equipo. Se estandarizaron las rampas de aceleración y desaceleración. Se realizaron pruebas para asegurar la estabilidad en la velocidad de funcionamiento. Se empleó un tacómetro B&K para evaluar la respuesta tiempo vs velocidad. Estas lecturas se validaron empleando un osciloscopio tecktronics. La siguiente gráfica muestra las rampas de aceleración y estabilidad en la velocidad programada, para una corrida a 6000 rpm por 120 segundos.

DISCUSIÓN

Se diseñó y construyó un aparato para el depósito

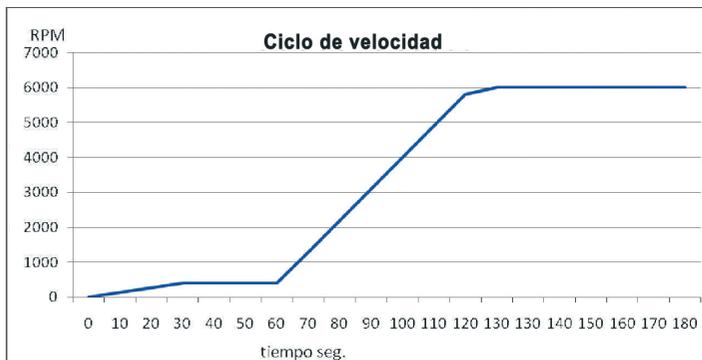


Figura 9. Respuesta tiempo vs velocidad para una corrida a 6000 rpm por 120 segundos.

de películas delgadas por el método de rotación. El funcionamiento del dispositivo fue evaluado y se encontró que éste permite un control preciso de la velocidad, la cual se mantiene estable durante el tiempo programado por el operador, tal como se ilustra en la figura 9. El proceso giratorio de dos etapas permite depositar a bajas velocidades (400 rpm x 1 min.) y homogeneizar el recubrimiento a alta velocidad (velocidad y tiempo programados por el operador).

Se propuso usar el microcontrolador ATmega8535 (Atmel 2004) por su gran facilidad de uso y porque su módulo PWM es de 16 bits y nos permite tener un alto porcentaje de precisión al calcular la velocidad deseada ya que se utilizó un control proporcional (Hongfu Zhou 2008) en lazo abierto sin retroalimentación y se ajustó la velocidad del motor a un modelo lineal de la respuesta de éste, usando una tabla de respuestas previamente guardada en la memoria del microcontrolador, utilizando el método de coeficientes indeterminados para obtener la función de respuesta voltaje vs velocidad.

Este procedimiento nos permite tener un sistema con respuesta muy parecida al de un sistema proporcional de lazo cerrado. La velocidad de operación presenta un error menor al 5% de la velocidad calculada que es suficiente para las aplicaciones que tendrá el equipo. En general se puede mejorar la precisión de la velocidad implementando un controlador PI (*Proportional integral*) con un lazo de retroalimentación óptico.

Con respecto a la fuente, se ha diseñado para suministrar la suficiente potencia al motor para mantener su torque a cualquier velocidad. La fuente es una Buck DC-DC (Mohan, 1995) la cual nos permite tener un voltaje de salida proporcional al ciclo de trabajo de la señal PWM (Hongfu, Z., 2008).

El voltaje promedio de salida en las terminales del motor es:

$V_o = \frac{\tau}{T} V$, donde V_o es el voltaje de salida y V es el voltaje fijo de entrada, la velocidad del motor es directamente proporcional al voltaje en las terminales del motor.

A diferencia de los equipos comerciales, éste se puede adecuar en un futuro para tener rampas de aceleración y desaceleración variables, implementación de sensores de presión y de temperatura para, de esta manera, tener un mayor control en el depósito de la película. Las características de este equipo son similares a las del equipo comercial *Chemat precisión spin-coater*. A diferencia de éste, tanto el costo [*Chemat*, \$81,000.00 pesos, equipo casero, \$5,000.00] como la posibilidad de adaptar otras funciones

en el mismo, hacen esta opción una alternativa más atractiva dentro de un laboratorio de investigación.

Se depositaron películas delgadas de dióxido de titanio. Los materiales obtenidos muestran buena adherencia al sustrato y uniformidad. Las propiedades de las películas fueron analizadas por espectroscopía Raman y se encontró que son apropiadas. El proceso de depósito es altamente reproducible.

CONCLUSIONES

A pesar de que en la actualidad existe una gran variedad de equipos comerciales de tipo "spin coater", su costo y mantenimiento son elevados. Con este proyecto se logró construir un equipo doméstico que reúne características similares a las de los equipos comerciales. Debido a su construcción en casa, el mantenimiento y costo del equipo son bajos, además de que existe la posibilidad de ampliar las capacidades del mismo, dependiendo de las necesidades del usuario. Las principales ventajas de este dispositivo son su costo, facilidad de operación, diseño robusto, sin vibraciones y portátil.

REFERENCIAS

- ATMEL 8 bit AVR Microcontroller ATMEGA8535, ATMEL Corporation, 1-4, 2004.
- HAN, Sangjun. Analysis of Extrusion-Spin coating: An Efficient and deterministic photoresist coating method in microlithography. Tesis doctoral, 35-39, 2001.
- HONGFU, Zhou, DC Servo Motor PID Control in Mobile Robots with Embedded DSP, *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 332-336, 2008.
- KAMALASANAN, M, CHANDRA, Subhas, Sol-gel synthesis of ZnO thin films, *Thin Solid Films*. 288, 112-113, 1996.
- MILLER, J.S., Surface modification of conducting particles. A new approach to conducting plastics, *Chem. Mater.* 22, 3681-3682, 1983.
- MOHAN, Undeland, *Power Electronics converters. Applications and Design*, 162-168, 1995.
- OHRING, M., *Materials Science of Thin Films. Deposition and Structure*. USA: Academic Press, 1-10, 2002.
- O'NEIL, Shane, *et al.*, Atmospheric pressure chemical vapour deposition of titanium dioxide coatings on glass, *J. Mater. Chem.* 13, 56-58, 2003.
- SCHUBERT, Dirk, DUNKEL, Thomas, Spin coating from a molecular point of view: its concentration regimes, influence of molar mass and distribution, *Materials Research Innovations*. 7, 314, 2003.
- SERP, Philippe, KALCK, Philippe, Chemical Vapor Deposition Methods for the Controlled preparation of Supported Catalytic Materials, *Chem. Rev.* 102, 3085-3088, 2002.
- SHEINA, E. *et al.*, Highly conductive, regioregular alkoxy-functionalized polythiophenes: A new class of stable low band gap materials. *Chem. Mater.*, 17(13), 3317-3319, 2005.
- WANG, Zhong, KANG, Zhang., *Functional and Smart Materials Structural Evolution and Structure Analysis*. Estados Unidos: Plenum Press, 514 pp., 1998.

Factores determinantes de la calidad de los servicios bancarios en un campus universitario venezolano

Agustín Mejías Acosta ¹, Dalimar Villegas ²,
y Ninoska Maneiro ³

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es identificar los factores que determinan la calidad de los servicios bancarios en entidades ubicadas en el campus de una universidad venezolana. Para este fin, se diseñó una encuesta basada en el modelo SERVQUAL, adaptada a los requerimientos de la institución universitaria, tomando como referencia investigaciones realizadas en el sector bancario. Los datos obtenidos fueron analizados aplicando la técnica de análisis de factores. Como resultado se identificaron cinco dimensiones: Atención al cliente, infraestructura, aspectos funcionales, gestión de servicios y aspectos generales. La encuesta resultó ser fiable y válida para medir la calidad de los servicios bancarios en el campus universitario donde se realizó la investigación y podría usarse para otros campus previa adecuación a las necesidades de cada universidad y/o entidad bancaria.

ABSTRACT

The objective of this research is to identify the factors that determine the banking services quality

Palabras clave: Calidad, servicios, entidades bancarias, SERVQUAL, campus universitario.

Key words: Quality, services, banking entities, SERVQUAL, university campus.

Recibido: 14 de abril de 2009, aceptado: 1 de julio de 2009

¹ Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, amejiasa@cantv.net; amejiasa@uc.edu.ve

² Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Ing.dvillegas@gmail.com

³ Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, bridana@cantv.net; nmaneiro@uc.edu.ve

on bank branches located at the campus of a venezuelan university. For this purpose a survey base on the SERVQUAL model was designed and adapted to the college requirements and recent research about banking sector as a theoretical basis; the obtained data was analyzed using the factor analysis technique. As a result, five dimensions were identified: Customer care, infrastructure, functional aspects, service management and general aspects. The survey showed to be reliable and valid for measuring banking service quality in the university campus where the research was performed, and with minor adaptations to the particular needs, it might be used for other campuses and banking entities.

INTRODUCCIÓN

Una de las estrategias utilizadas recientemente por las instituciones bancarias en Venezuela, y en general, en otras partes de mundo, es la incorporación de agencias sucursales dentro de importantes organizaciones. En el caso particular de las universidades, este tipo de estrategia viene alineada con la búsqueda por parte de la gerencia universitaria, de oportunidades para satisfacer los requerimientos cada vez más exigentes de su comunidad; sin embargo, ha originado nuevos problemas relacionados con la calidad de dichos servicios. Es así como surge la necesidad de medir la calidad de los servicios bancarios universitarios para identificar las dimensiones subyacentes al mismo, las cuales permitirían el diseño eficaz y eficiente de acciones para la mejora continua.

La medición de la calidad de servicio es un tópico de mucha discusión y divulgación; la mayoría de los autores coinciden en señalar que

en el sector bancario los trabajos son iniciados por Parasuraman, Zeithaml y Berry (1985, 1988) donde validaron el SERVQUAL (**SERV**ice **QUA**Lity), el modelo de mayor difusión y aplicación para la medición de la calidad de servicio. En dicho modelo, se define la calidad de servicio como una función de la discrepancia entre las expectativas de los consumidores sobre el servicio que van a recibir y sus percepciones sobre el servicio efectivamente prestado por la organización. Los autores propusieron como dimensiones de la calidad de servicio los **elementos tangibles** (apariciencia de las instalaciones físicas, equipos, personal y materiales de comunicación), la **fiabilidad** (habilidad para cumplir con el servicio prometido de forma fiable y cuidadosa), la **capacidad de respuesta** (disposición y voluntad de los empleados para ayudar al cliente y prestar el servicio), la **seguridad** (conocimiento y atención mostrados por los empleados y sus habilidades para mostrar credibilidad y confianza) y la **empatía** (atención individualizada que le ofrecen las empresas a los consumidores).

Otros estudios en el ámbito bancario se deben a Cronin y Taylor (1994), quienes utilizan los usuarios bancarios para desarrollar el SERVPERF y fundamentar, junto con otros autores (Buttle, 1996, Asubonteg, *et al.*, 1996), las críticas a la escala SERVQUAL. Adicionalmente, aplicaciones de la medición de la calidad de los servicios bancarios usando SERVQUAL son reportadas por Valdunciel *et al.* (2007), quienes incluyen revisiones precedentes sobre el tema. No obstante, en la revisión de literatura no se encontró ningún estudio de la calidad de servicio en instituciones bancarias ubicadas dentro de un campus universitario. Este hecho, aunado al interés de la universidad de evaluar el servicio prestado por estas entidades financieras, dio origen a esta investigación cuyo objetivo es determinar los factores que definen la calidad de los servicios bancarios ofrecidos dentro del campus de una universidad en Venezuela, a partir de las percepciones de los clientes. Con dichos factores se pretenden identificar oportunidades para mejorar la gestión de dichos servicios, lo que redundaría en beneficio de la misma entidad bancaria, misma que puede diseñar estrategias de captación de clientes y de incremento de la satisfacción de éstos con respecto al servicio prestado. Asimismo, la gerencia universitaria dispondría de un instrumento de evaluación de las instituciones prestadoras del servicio, en términos de la calidad y tipo de servicios que la comuni-

dad universitaria necesita y espera que le sean brindados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Después de una extensiva revisión de literatura del tema de calidad de servicio en el sector bancario, y con base en el modelo SERVQUAL de Parasuraman *et al.*, (1988) se diseñó un modelo de encuesta de veinticuatro reactivos (ver anexo 1), los cuales permitían respuestas en la escala graduada de Likert (1-5); adicionalmente, fueron incluidos en la encuesta otros de control los cuales ayudarían a determinar la validez de la escala usada.

El estudio de campo fue realizado el primer trimestre de 2008. La encuesta fue aplicada a aquellos clientes que manifestaron su interés en participar en la investigación, un total de 175 usuarios de las cuatro agencias bancarias con sede en el campus universitario, empleando la técnica de muestreo casual no probabilístico a conveniencia de la investigación (Hernández *et al.*, 2003; Grande y Abascal, 2005), justificado por el tipo de estudio (exploratorio) y por no contarse con el marco de muestreo. Una vez diseñada la encuesta y aplicada a los usuarios seleccionados, se procedió al procesamiento de los datos obtenidos, realizado con el paquete estadístico SPSS®.

RESULTADOS

Dimensiones de la calidad de los servicios bancarios universitarios

La identificación de los factores que determinan la calidad de los servicios bancarios universitarios se realizó usando la técnica estadística del análisis de factores. Previamente, se llevaron a cabo las respectivas pruebas de adecuación muestral de los datos disponibles. La matriz de correlaciones obtenida a partir de los datos, evidencia correlaciones significativas entre la mayoría de las variables ($r > 0,500$; significativos al 5%); en esta etapa, se procedió a eliminar del análisis aquellas variables con correlaciones no significativas (V10 y V23, ver anexo 1). Para apoyar la evidencia de altas correlaciones entre las variables, base para el análisis de factores, se calculó el determinante de la matriz de correlaciones (Det.=0,001) que indica el grado de intercorrelación de los coeficientes de correlación. Otro estadístico importante para evidenciar las correlaciones entre las variables es la medida de adecuación muestral

de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO); cuando existe adecuación de los datos a un modelo de análisis de factores, la medida estará próxima a uno. Para los datos en estudio, el KMO es igual a 0,817, el cual es considerado bueno (Vicente y Oliva y Manera, 2003; Pérez, 2004). Una vez demostrada la adecuación de la muestra para el uso del análisis de factores, se procedió a identificar los que determinan la calidad del servicio caso en estudio; para este fin, se seleccionó como método de extracción el de componentes principales, y como método de rotación, el VARIMAX. En esta etapa se eliminaron del análisis las variables V04, V14, V19, V21, V22 y V24, ya que reportaban bajas cargas factoriales. Finalmente, se identifican

cinco dimensiones que logran explicar más del 64% de la variabilidad de los datos. En la tabla 1, se resumen los factores y sus variables, de acuerdo con los reportes generados por el SPSS®, a partir de los datos del estudio.

Análisis de fiabilidad y validez de la encuesta

Para determinar la fiabilidad de la escala se utilizó el coeficiente de consistencia interna Alfa de Cronbach (α), cuyos valores aconsejables van de 0,75 a 0,90 (Nunnally, 1978, citado por Prat y Doval, 2005). Para esta investigación se reporta un índice global de $\alpha=0,802$; adicionalmente, se reportan valores de $\alpha_1=0,885$, $\alpha_2=0,583$, $\alpha_3=0,568$,

Tabla 1. Factores que determinan la calidad de los servicios bancarios universitarios.

Dimensión	Carga factorial	Variables (ítems)
Atención al cliente ($\alpha_1=0,885$)	0,900	-Los empleados del banco dedican el tiempo necesario con el cliente no importando el estado financiero del mismo (V17).
	0,896	-Los empleados del banco mantienen un trato respetuoso, cortés y paciente, aún y cuando se le planteen preguntas ilógicas (V16).
	0,808	-Los empleados del banco mantienen el mismo trato con todos los clientes no importando el estado financiero del mismo (V15).
	0,791	- Existe familiaridad, cordialidad, simpatía y disposición en todo momento en la atención al cliente (V18).
Infraestructura ($\alpha_2=0,583$)	0,757	-Los equipos para transacciones son modernos y rápidos (PC, cajeros, etc.) (V09).
	0,706	-La apariencia de las instalaciones físicas es pulcra y agradable (V07).
	0,552	-Los servicios ofrecidos por la entidad financiera se adaptan a las necesidades que posee la comunidad universitaria (V03).
Aspectos funcionales ($\alpha_3=0,568$)	0,748	-El banco posee suficientes cajeros automáticos en funcionamiento y con disponibilidad monetaria (V12).
	0,658	-El banco posee sistemas de seguridad y vigilancia apropiados (V11).
	0,655	-Las instalaciones internas del banco son cómodas para recibir los servicios (mobiliario funcional) (V08).
Gestión de servicios ($\alpha_4=0,658$)	0,852	-La institución bancaria brinda información a todos los clientes acerca de los servicios que ofrece (V01).
	0,757	-La entidad bancaria ofrece planes, programas y/o servicios orientados al beneficio de los clientes (V02).
	0,574	-En las oficinas de la entidad existe publicidad, folletos u otros escritos que informen de los servicios que ofrece la institución bancaria a la población universitaria (V06).
Aspectos generales ($\alpha_5=0,540$)	0,674	-Existe disponibilidad de enlaces entre la página web de la universidad y el banco (V05).
	0,626	- El banco tiene ubicados los cajeros automáticos en un lugar accesible y seguro (V13).
	0,457	- La entidad se preocupa por resolver los errores con prontitud (V20).

$\alpha_4=0,658$ y $\alpha_5=0,540$, para cada una de las dimensiones identificadas, respectivamente.

Para la validez de contenido, se tomaron como referencia los diferentes estudios realizados en el campo de la calidad de servicio (Parasuraman *et al.*, 1985, 1988, 1991; Grönroos, 1994; entre otros) así como la literatura especializada en calidad de servicio bancario (Saurina, 2002; Chi *et al.*, 2003; Santiago, 2004; Valdunciel *et al.*, 2007; entre otros). Adicionalmente, la escala fue sometida a la validación por parte de expertos en el tema, quienes apoyaron los fundamentos teóricos de la misma.

Para demostrar la validez de criterio (concurrente y predictiva), se llevaron a cabo pruebas estadísticas usando las variables de control contenidas en la encuesta (ver anexo 1). Para la validez concurrente se agruparon los encuestados de acuerdo con la respuesta dada a la variable "b" (calidad global), donde se supone que la calidad de servicio percibida promedio está relacionada con la calidad global reportada; la Prueba U de Mann-Whitney realizada permite determinar que existe diferencia significativa entre la calidad de servicio percibida por ambos grupos (**Estadístico U=1502, significativo al 5%**). Para determinar la validez predictiva y, basándose en el hecho de que la calidad de servicio precede la satisfacción del cliente, se tomaron en cuenta los promedios entre las dimensiones (**de la calidad de servicio**) como variables independientes y la variable "a" como variable independiente (*Satisfacción del cliente*); los resultados del análisis de regresión (**$R^2=0,568$, significativo al 5%**), permite demostrar la validez predictiva de la escala. La validez de constructo se llevó a cabo mediante el análisis de factores, técnica mediante la cual se identificaron los factores que determinan la calidad de los servicios bancarios.

DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados reportados en la tabla 1, los factores que determinan la calidad de los servicios bancarios universitarios, para este caso de estudio, son: **Atención al cliente, infraestructura, aspectos funcionales, gestión de servicios y aspectos generales.**

En el primer factor, se ven representadas variables relacionadas con la **atención al cliente**, como el trato respetuoso, la familiaridad y la confianza transmitida por parte de los empleados; el segun-

do factor **infraestructura**, se destaca la forma en que se adapta el ambiente físico del banco a las necesidades y expectativas del cliente, se incluyen aspectos como equipos e instalaciones, así como la flexibilidad de los mismos para el uso de los clientes; en el factor de **aspectos funcionales** se incluyen variables relacionadas con el desempeño de los cajeros automáticos, la seguridad y la comodidad para recibir el servicio; en **gestión de servicios**, se incluyen aspectos relacionados con el manejo de la información, publicidad, y programas, entre otros; finalmente, en **aspectos generales**, se toman en cuenta nuevas tecnologías como el enlace a la red, la accesibilidad y seguridad de los cajeros y la pronta respuesta a los problemas de los usuarios.

Es importante destacar que, aunque las variables en su mayoría son una adaptación al contexto bancario venezolano del modelo SERVQUAL (Parasuraman *et al.*, 1988, 1991), los factores o dimensiones propuestas por dichos autores no son las mismas reportadas en este estudio, lo que evidencia el carácter dinámico de las percepciones de la calidad de los servicios.

Por otra parte, los factores identificados se asemejan a otros reportados en el contexto financiero; destacándose la **atención al cliente**, reportado por Saurina (2002) como el **trato con los usuarios**, por Santiago (2001) como trato y amabilidad, y por Valdunciel *et al.* (2007) como **aspectos humanos**; asimismo, la **infraestructura**, es identificada por estos mismos autores como tangible, instalaciones y aspectos físicos, respectivamente; mientras que, la **gestión de servicios**, reúne los aspectos de información señalados por Saurina (2002) y Santiago (2001).

Uno de los aspectos clave de éxito para la gestión de las entidades bancarias es el empleo de nuevas tecnologías de la información, que a pesar de no haber sido identificado en este estudio como factor, es tomado en cuenta en los aspectos generales con la variable "disponibilidad de enlace entre la red".

CONCLUSIONES

La calidad de los servicios bancarios dentro del campus universitario donde se realizó el estudio puede estructurarse en cinco dimensiones, a saber: Atención al cliente, infraestructura, aspectos funcionales, gestión de servicios y aspectos generales.

ANEXO 1

Variables usadas en la encuesta

1)	La institución bancaria brinda información a todos los clientes acerca de los servicios que ofrece como abrir una cuenta en sus oficinas.
2)	La entidad bancaria ofrece planes, programas y/o servicios orientados al beneficio de los diferentes tipos de clientes, tales como: plan de pagos flexibles, apertura de cuenta con monto mínimo, etc.
3)	Los servicios ofrecidos por la entidad financiera se adaptan a las necesidades que posee la comunidad universitaria.
4)	El banco posee responsabilidad social con la comunidad universitaria.
5)	Existe disponibilidad de enlaces entre la página web de la universidad y el banco.
6)	En las oficinas de la entidad existe publicidad, folletos u otros escritos que informen de los servicios que ofrece la institución bancaria a la población universitaria.
7)	La apariencia de las instalaciones físicas es pulcra y agradable.
8)	Las instalaciones internas del banco son cómodas para recibir los servicios (mobiliario funcional).
9)	Los equipos para transacciones son modernos y rápidos (computadoras, cajeros automáticos, otros).
10)	Separación apropiada entre las áreas de: caja, espera y la de consulta o gestión.
11)	El banco posee sistemas de seguridad y vigilancia apropiados.
12)	El banco posee suficientes cajeros automáticos en funcionamiento y con disponibilidad monetaria.
13)	El banco tiene ubicados los cajeros automáticos en un lugar accesible y seguro.
14)	El banco posee horarios flexibles de atención al público en oficinas y taquillas externas, acorde con las necesidades de la comunidad universitaria.
15)	Los empleados de la entidad mantienen el mismo trato con todos los clientes no importando el estado financiero del mismo.
16)	Los empleados del banco mantienen un trato respetuoso, cortés y paciente, aún y cuando se le planteen preguntas ilógicas.
17)	Los empleados del banco dedican el tiempo necesario con el cliente no importando el estado financiero del mismo.
18)	Existe familiaridad, cordialidad, simpatía y disposición en todo momento en la atención al cliente.
19)	Se observa diligencia y rapidez por parte de los empleados del banco en gestionar las operaciones del cliente, sin mostrar discriminación alguna.
20)	La entidad se preocupa por resolver los errores con prontitud.
21)	El comportamiento de los empleados le transmite confianza al cliente.
22)	En las consultas y gestiones se mantienen normas de discreción y respeto a la intimidad del cliente
23)	Frecuentemente se observan largas colas de espera en atención al cliente.
24)	El banco le ofrece atención individualizada y comprende sus necesidades específicas .

- a) Me siento satisfecho con los servicios prestados en esta institución.
 b) Percibo una buena calidad de servicio en esta institución bancaria.

Aún cuando el modelo de encuesta usado toma en cuenta la mayoría de las variables del modelo SERVQUAL, la estructura subyacente para este caso en estudio no es la misma, destacando el carácter dinámico del modelo y en general, de la calidad del servicio. Por otro lado, dicha estructura se asemeja a las propuestas en estudios previos realizados en el ámbito bancario.

La gestión de los factores identificados en esta investigación permitirá, tanto a la gerencia universitaria como a la bancaria, la focalización de

los planes para la mejora continua y el uso racional de los escasos recursos disponibles.

La encuesta usada en esta investigación demostró ser fiable y válida para los fines propuestos, por lo que podría ser utilizada, previa adaptación a las necesidades particulares de las entidades bancarias en otros campus universitarios. No obstante, debe tomarse en cuenta el impacto de las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC'S) en futuras aplicaciones.

REFERENCIAS

- ASUBONTEG, P., McCLEARY, K. y SWAN, J., SERVQUAL revisited: a critical review of service quality, *Journal of Service Marketing*. 10 (6), 62-81, 1996.
- BUTTLE, F., SERVQUAL: review, critique, research agenda, *European Journal of Marketing*. 30 (1), 8-32, 1996.
- CHI, C.; LEWIS, B. y PARK, W., Service Quality Measurement in the Banking Sector in South Korea, *International Journal of Bank Marketing*. 21 (4), 191-201, 2003.
- CRONIN, J. y TAYLOR, S., SERVPERF vs. SERVQUAL Reconciling Performance-Based and Perceptions-Minus Expectations Measurement of Service Quality, *Journal of Marketing*. 58 (1), 125-131, 1994.
- GRANDE, I. y ABASCAL, E., *Análisis de Encuestas*. Madrid: Esic editorial, 291 pp., 2005.
- GRONROOS, C., *Marketing y Gestión de Servicios*. Madrid: Ediciones Díaz Santos, 291 pp., 1994.
- MEJÍAS, A., REYES, O. y MANEIRO, N., Calidad de los Servicios en la Educación Superior Mexicana: Aplicación del SERVQUALing en Baja California, *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 14 (34), 34-39, 2006.
- PARASURAMAN, A., ZEITHAML, V. y BERRY, L., A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research, *Journal of Marketing*, 49 (5), 41-50, 1985.
- PARASURAMAN, A., ZEITHAML, V. y BERRY, L., SERVQUAL: A Multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality, *Journal of Retailing*. 64, 12-40, 1988.
- PARASURAMAN, A., ZEITHAML, V. y BERRY, L., Refinement and Reassessment of the SERVQUAL Scale, *Journal of Retailing*. 67 (4), 420-450, 1991.
- PÉREZ, C., *Técnicas de Análisis Multivariante de Datos*. Madrid: Pearson Educación, 646 pp., 2004.
- PRAT, R. y DOVAL, E., Construcción y análisis estadístico de escalas, en *Análisis Multivariante para las Ciencias Sociales* (Comp. Lévy, J. y Valera, J.). Madrid: Pearson Prentice Hall, 43-89, 2005.
- SANTIAGO, J., La Calidad de Servicio Bancario: una escala de medida específica, *ESIC MARKET*. 110, 119-142, 2001.
- SUARINA, C., Medida de la calidad: Adaptación de la escala SERVQUAL al ámbito financiero, *Revista Española de Financiación y Contabilidad*. 31(113), España: Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas, 803-831, 2002.
- VALDUNCIEL, L.; FLÓREZ, M. y MIGUEL, J. A., Análisis de la calidad del servicio que prestan las entidades bancarias y su repercusión en la satisfacción del cliente y la lealtad hacia la lealtad, *Revista Asturiana de Economía*, 38, 79-107, 2007.
- VICENTE Y OLIVA, M^o de y MANERA, J., El análisis factorial y por componentes principales, en Lévy, J. y Valera, J. (Comp.), *Análisis Multivariable para las Ciencias Sociales*. Madrid: Pearson Educación, 327-360, 2003.
- ZEITHAML, V. y PARASURAMAN, A., *Service Quality*. USA: Marketing Science Institute, 86 pp., 2004.

Política editorial de *Investigación y Ciencia*

Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes es una publicación periódica, cuatrimestral, multidisciplinaria, que tiene como objetivo principal dar a conocer artículos inéditos de investigación y difusión científica que contribuyan a difundir avances de la ciencia y la tecnología en el ámbito local, nacional e internacional.

El primer número se publicó en el año de 1990 y hasta el momento se han editado más de 40 números. Está dirigida a instituciones de educación superior, centros de investigación, bibliotecas, bachilleratos y dependencias de gobierno. Además de estar integrada al Programa de Préstamo Interbibliotecario México-EUA está indexada a Actualidad Iberoamericana, DOAJ, HELA, LATINDEX, PERIÓDICA y REDALYC.

La revista considera dos secciones: 1) Editorial, que incluye el Directorio, un Consejo Editor de prestigio y el Comité Editorial huésped para cada número. 2) Los artículos *in extenso*, los cuales son revisados por dos especialistas del Comité Editorial integrado por investigadores expertos de las diferentes áreas, pertenecientes a diversas instituciones de investigación reconocidas a nivel nacional e internacional.

Criterios para publicar

Los autores deben tomar en cuenta las siguientes indicaciones:

I. Naturaleza de los trabajos

Los trabajos presentados deberán de ser originales y de alto nivel sobre cuestiones relacionadas con las Ciencias Agropecuarias, Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias de la Salud, Ingenierías y Tecnologías, 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 físico y/o electrónico, incluyendo internet.

II. Aspectos formales

1. Título breve y claro.
2. Datos del autor o autores: Presentar en primer orden, el nombre completo del autor principal y posteriormente los demás autores, agregando a pie de página para cada uno su adscripción, institución y correo electrónico.
3. Redacción adecuada: Escrito en altas y bajas, según las reglas gramaticales y en tercera persona.
4. Ortografía: No presentar faltas de ortografía.
5. Lenguaje accesible: El autor debe de tomar en cuenta que no es una revista para especialistas y que sus lectores son de diversas áreas, por lo que se sugiere utilizar palabras sencillas, frases cortas o, en caso de incluir términos técnicos o siglas desconocidas, deberán explicarse en el cuerpo del trabajo.

III. Especificaciones del formato

1. ESCRITO EN COMPUTADORA: Capturado en PC o Macintosh en *Word*, *Power Point*, *Illustrator*, *InDesing* y *Corel*, en tamaño carta.
2. TIPOGRAFÍA: Arial en 12 puntos.
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. EXTENSIÓN: No deberá ser menor de cinco ni mayor de quince cuartillas, incluyendo las ilustraciones.
7. ILUSTRACIONES: Todo artículo se deberá acompañar de al menos una ilustración que puede ser una tabla y/o figura (fotografía, dibujo o gráfica). Las ilustraciones deberán contener **pie de foto explicativo**. Las imágenes en color deben enviarse en diapositivas de alta calidad. Los dibujos o esquemas deberán ser en original. Las ilustraciones deberán ser guardadas o formateadas con terminación TIFF, JPG, EPS, UPEG, PICT y PHOTOSHOP. En caso de que el artículo contenga muchas ilustraciones, éstas se deberán presentar en otro archivo.

V. Estructura del contenido

Artículos de Investigación

Corresponde a artículos que informan los resultados o avances que han tenido investigadores de la UAA así como externos, cuyos textos queden comprendidos dentro de las Ciencias Agropecuarias, Ciencias Naturales y Exactas, Ciencias de la Salud, Ingenierías y Tecnologías y las Ciencias Económicas, Sociales y Humanidades. La presentación deberá llevar el siguiente orden (si de acuerdo a la temática no es posible cumplirlo se deberá justificar):

- a. Resumen: Deberá ser un sólo párrafo que reúna las principales aportaciones del artículo en un máximo de 150 palabras. El resumen deberá ser escrito en Español y en un segundo idioma y deberá ser colocado al principio del artículo. Después del resumen, se deberá incluir una lista de seis palabras clave, las cuales deberán ser escritas en Español y en un segundo idioma.
- b. Introducción: Señalar en qué consiste el trabajo completo, objetivo, antecedentes, estado actual del problema e hipótesis.
- c. Materiales y Métodos: Describir en forma precisa el procedimiento realizado para comprobar la hipótesis y los recursos empleados en ello.
- d. Resultados: Expresar el producto del trabajo con claridad y en lenguaje sencillo; se podrán presentar datos de medición o cuantificación.
- e. Discusión: Presentar la interpretación de los resultados de acuerdo con estudios similares, es decir, correlacionando los resultados del estudio con otros realizados, además de enunciar ventajas del estudio, sus aportaciones, pero evitando adjetivos que elogien los resultados.
- f. Conclusiones: Precisar qué resultados se obtuvieron y si permitieron verificar la hipótesis; y se planteen perspectivas del estudio y la aplicación de los resultados.
- g. Referencias: Enlistar en orden alfabético las principales fuentes bibliográficas consultadas.

Artículos de Difusión Científica

Corresponde a artículos de temas relevantes de ciencia y tecnología, con el objetivo de difundir el conocimiento, pueden ser revisiones del estado actual de un campo de investigación, que se exponen de una manera clara. La presentación del contenido será la siguiente:

- a. El título deberá de ser corto y atractivo.
- b. Resumen: Deberá ser un sólo párrafo que reúna las principales aportaciones del artículo en un máximo de 150 palabras. El resumen deberá ser escrito en Español y en un segundo idioma, y deberá ser colocado al principio del artículo. Después del resumen, se deberá incluir una lista de seis palabras clave, las cuales deberán ser escritas en Español y en un segundo idioma.
- c. El texto deberá dividirse en secciones con subtítulos para separarlas; considerando una introducción al tema, el desarrollo del trabajo bajo una discusión académica, una conclusión y un apartado de referencias o recomendaciones de lectura.
- d. Se debe establecer una conexión entre los apartados.

V. Referencias

Para ambos tipos de artículos, de investigación y difusión científica, las referencias deberán contener la siguiente información:

De libros:

- Nombre del autor en mayúsculas, comenzando por el apellido e iniciales del nombre (es).
- Dos autores deberán conjuntarse con la letra y minúscula, para más de tres autores se agrega la frase *et al.* y por último una coma.
- Título del libro en letra cursiva y punto.
- Número del volumen cuando sea el caso, número de edición y coma.
- País, dos puntos, editorial, coma, número de páginas, coma y año.

De publicaciones periódicas:

- Nombre del autor o autores comenzando por el apellido y en mayúsculas, coma.
- Nombre del artículo, coma y nombre de la publicación en letra cursiva, punto.
- Volumen, coma, páginas consultadas, coma, fecha de publicación.

De páginas electrónicas en sección aparte con el título de Dictiotopografía:

- Nombre del autor o autores en mayúsculas, comenzando por el apellido y coma.
- Nombre de la publicación y punto.
- Preposición De, dos puntos.
- Dirección del sitio o página electrónica, coma y fecha de revisión.

VI. Especificaciones de envío

1. Para enviar un artículo es necesario que el documento cumpla estrictamente con los lineamientos de formato y de contenido que anteriormente se han especificado.
2. El envío del artículo puede realizarse mediante dos maneras:
 - I. 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.
 - II) 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 y un resumen curricular del primer autor.
3. Es importante que el autor conserve una copia del disco compacto y de la impresión enviada.

VII. Características de la revisión de artículos

1. El editor de la revista se reserva el derecho de devolver a los autores los artículos que no cumplan con los criterios para su publicación.

2. El comité editorial de cada número está integrado por miembros del Sistema Nacional de Investigadores o investigadores de reconocido prestigio, expertos en el área que por invitación participan como árbitros.
3. Todos los trabajos son revisados por dos o tres investigadores, especificando en el dictamen si se acepta el artículo intacto, con modificaciones o si definitivamente se rechaza.
4. Si el trabajo es aceptado, pero con modificaciones, se turnarán las observaciones al autor, éste deberá atenderlas en un plazo no mayor a 10 días hábiles y entregará nuevamente a la editora el original y el disco compacto para su publicación.
5. 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.
6. Una vez que el artículo haya sido aceptado, pasará a una revisión de estilo y forma, para su versión definitiva.
7. 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.

VIII. 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, Ciudad Universitaria,
 Edificio 1-B, segundo piso.
 C.P. 20100, Aguascalientes, Ags.
 Teléfono (449) 910-74-42, fax (449) 910-74-41
 Correo electrónico:
revistaiyc@correo.uaa.mx
<http://www.uaa.mx/investigacion/revista>