

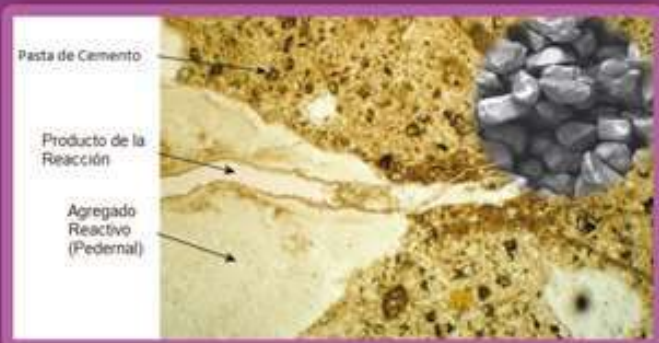
# TECNOLOGÍA CIENCIA

## Chihuahua

Revista de ciencia, tecnología y humanidades  
Universidad Autónoma de Chihuahua



Emergencia y crecimiento del zacate banderilla [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] con biosólidos en condiciones de sequía



Adiciones minerales como atenuantes de la reacción álcali sílice en estructuras de concreto hidráulico



Queso fresco "cuajada". Mapas externos de preferencias de jueces entrenados y consumidores: comparación del desempeño y determinación de la preferencia



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
**CHIHUAHUA**

M.C. JESÚS ENRIQUE SEÁÑEZ SÁENZ  
*Rector*

M.D. SAÚL ARNULFO MARTÍNEZ CAMPOS  
*Secretario General*

LIC. SERGIO REAZA ESCÁRCEGA  
*Director de Extensión y Difusión Cultural*

DR. ROSENDO MARIO MALDONADO ESTRADA  
*Director de Planeación y Desarrollo Institucional*

DR. ALEJANDRO CHÁVEZ GUERRERO  
*Director Académico*

M.C. JAVIER MARTÍNEZ NEVÁREZ  
*Director de Investigación y Posgrado*

M.A.R.H. HORACIO JURADO MEDINA  
*Director Administrativo*

# TECNOCIENCIA Chihuahua

## Comité Editorial Interno

DR. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA  
*Editor en Jefe*

M.E.S. NANCY K. VENEGAS HERNÁNDEZ  
*Asistente editorial - Abstracts*

M.S.I. IVÁN DAVID PICAZO ZAMARRIPA  
*Coordinador editorial*

L.S.C.A. MARTHA IVETTE ACOSTA CHÁVEZ  
*Diseño*

## Editores Asociados

DRA. ALMA DELIA ALARCÓN ROJO  
DRA. ANA CECILIA GONZÁLEZ FRANCO  
DR. OSCAR ALEJANDRO VARAMONTES OLIVAS

DR. CARMELO PINEDO ÁLVAREZ  
DR. JAVIER TARANGO ORTIZ

DRA. LUZ HELENA SANÍN AGUIRRE  
DRA. MARÍA DE LOURDES VILLALBA

## Consejo Editorial Internacional

DR. GUILLERMO FUENTES DÁVILA  
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México*

DR. VÍCTOR ARTURO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ  
*Colegio de Posgraduados, México*

DR. JOHN G. MEXAL  
*New Mexico State University, Estados Unidos de América*

DR. ULISES DE JESÚS GALLARDO PÉREZ  
*Instituto de Angiología y Cirugía Vascular, La Habana, Cuba*

DR. HUMBERTO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ  
*Universidad Autónoma de Nuevo León, México*

DRA. ELIZABETH CARVAJAL MILLÁN  
*Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., México*

DR. ALBERTO J. SÁNCHEZ MARTÍNEZ  
*Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México*

DR. LUIS RAÚL TOVAR GÁLVEZ  
*Instituto Politécnico Nacional, México*

DR. LUIS FERNANDO PLENGE TELLECHEA  
*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México*

DR. HÉCTOR OSBALDO RUBIO ARIAS  
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México*

DRA. ANGELA BEESLEY  
*University of Manchester, Reino Unido*

DR. LUIS ALBERTO MONTERO CABRERA  
*Universidad de La Habana, Cuba*

DR. RICARD GARCÍA VALLS  
*Universitat Rovira I Virgili, España*

DR. LUIZ CLOVIS BELARMINO  
*Faculdade Atlantico Sul, Brasil*

TECNOCIENCIA-Chihuahua. Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades. Volumen VI, Número 1, Enero-Abril, 2012. Publicación cuatrimestral de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Editor en Jefe: Dr. César Humberto Rivera Figueroa. ISSN: 1870-6606. Número de Reserva al Título en Derecho de Autor: 04-2007-0326610180900-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 13868. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 11441. Clave de registro postal PP08-0010. Domicilio de la publicación: Edificio de la Dirección de Investigación y Posgrado, Ciudad Universitaria s/n, Campus Universitario I, C.P. 31170, Chihuahua, Chihuahua, México. Oficina responsable de la circulación: Dirección de Investigación y Posgrado, Ciudad Universitaria, Campus Universitario I, C.P. 31170. Imprenta: Impresora Standar, Ernesto Talavera No. 1207, Teléfono 416-7845, Chihuahua, Chih. Tiraje: 1,000 ejemplares. Precio por ejemplar en Chihuahua: \$ 60.00 Costo de la suscripción anual: México, \$ 200 (pesos); EUA y América Latina, \$ 35 (dólares); Europa y otros continentes, \$ 40 (dólares). La responsabilidad del contenido de los artículos firmados es de sus autores y colaboradores. Puede reproducirse total o parcialmente cada artículo citando la fuente y cuando no sea con fines de lucro. Teléfono: (614) 439-1500 (extensión 2214); fax: (614) 439-1500 (extensión 2209), e-mail: tecnociencia.chihuahua@uach.mx. Página web: <http://tecnociencia.uach.mx>.



## Contenido

### Definición de la revista

I

### Editorial

II

### El científico frente a la sociedad

La profesionalización en enfermería: hacia una estrategia de cambio

*Eliazar González-Carrillo  
Ana María Arras-Vota  
B. Leticia Moriel-Corral*

1

### Alimentos

Mapas externos de preferencias de jueces entrenados y consumidores: comparación del desempeño y determinación de la preferencia

*Juliana López-Velázquez, Tania Gómez-Alvarado,  
María Hernández-Cervantes, Rodrigo Santiago-Cabrera,  
Lorena Guadalupe Ramón-Canul, José Manuel Juárez-  
Barrientos, Fátima Karina Delgado-Vidal y Emmanuel  
de Jesús Ramírez-Rivera*

9

### Salud

Identification of novel point mutations in c-kit gene from Leukemia cases: a study from Lucknow, Uttar Pradesh, India

*Syed Rizwan Hussain, Amna Siddiqui, Javier  
Vargas-Medrano, Hena Naqvi, Jonathon Mohl,  
Farzana Mahdil and Fahim Ahmad*

22

Revisión: Mecanismos moleculares de la neurofibromatosis tipo 2

*Jorge Aníbal Sierra-Fonseca  
Javier Vargas-Medrano  
Luis Fernando Plenge-Tellechea*

33

### Ingeniería y tecnología

Adiciones minerales como atenuantes de la reacción álcali sílice en estructuras de concreto hidráulico

*Cecilia Olague-Caballero  
Gilberto Wenglas-Lara  
Fernando Astorga-Bustillos*

49

### Medio ambiente y desarrollo sustentable

Emergencia y crecimiento del zacate banderilla [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] con biosólidos en condiciones de sequía

*Pedro Jurado-Guerra  
Héctor Domínguez-Caraveo  
Alicia Melgoza-Castillo  
Carlos Morales-Nieto*

57

## Definición de la Revista *TECNOCENCIA Chihuahua*

TECNOCENCIA Chihuahua es una publicación científica arbitrada de la Universidad Autónoma de Chihuahua, fundada en el año 2007 y editada de forma cuatrimestral. Está indizada en:

- LATINDEX, Catálogo de revistas científicas de México e Iberoamérica que cumplen con criterios internacionales de calidad editorial.
- PERIODICA, la base de datos bibliográfica de la UNAM de revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.
- CLASE, la base de datos bibliográfica de la UNAM de revistas de América Latina y el Caribe, especializadas en ciencias sociales y humanidades

### Objetivos

Servir como un medio para la publicación de los resultados de la investigación, ya sea en forma de escritos científicos o bien como informes sobre productos generados y patentes, manuales sobre desarrollo tecnológico, descubrimientos y todo aquello que pueda ser de interés para la comunidad científica y la sociedad en general. También pretende establecer una relación más estrecha con su entorno social, para atender a la demanda de los problemas que afectan a la sociedad, expresando su opinión y ofreciendo soluciones ante dicha problemática.

La revista *TECNOCENCIA Chihuahua* se publica cuatrimestralmente para divulgar los resultados de la investigación en forma de avances científicos, desa-

rollo tecnológico e información sobre nuevos productos y patentes. La publicación cubre las siguientes áreas temáticas: Alimentos, Salud y Deporte, Ingeniería y Tecnología, Educación y Humanidades, Economía y Administración, Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, Creatividad y Desarrollo Tecnológico.

### Visión

Mejorar de manera continua la calidad del arbitraje de los artículos publicados en la revista, proceso que se realiza en forma anónima bajo el sistema de doble ciego. Conformar el Consejo Editorial Internacional y cada Comité Editorial por área del conocimiento de la revista, incorporando como revisores a investigadores del país y del extranjero adscritos a instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación, que son reconocidos como académicos y científicos especializados en su campo.

### Tipos de escritos científicos

En la revista se publican las siguientes clases de escritos originales: artículos científicos en extenso, notas científicas, ensayos científicos y artículos de revisión.

### A quién se dirige

A científicos, académicos, tecnólogos, profesionistas, estudiantes y empresarios.



# Editorial

**P**ara toda institución de educación superior no basta con desarrollar investigación por conducto de sus integrantes, ya que el impulso que se le da a la misma, como medio para generar conocimiento, se convierte en una responsabilidad inacabada cuando sus resultados no son difundidos y, por ende, puestos al servicio de la sociedad.

En tal sentido, la Universidad Autónoma de Chihuahua, en respuesta al compromiso institucional asumido frente a la comunidad científica, vio en el año de 2007 cristalizado uno de los más grandes anhelos de sus investigadores: la publicación de su primer revista arbitrada e indizada TECNOCENCIA Chihuahua.

Hoy, a cinco años de su publicación -cumplidos el 13 de febrero de 2012-, este importante logro se ha convertido en un sólido medio de difusión del trabajo científico realizado por los universitarios, proponiendo a través del mismo soluciones a la problemática social actual, desde la perspectiva de la ciencia, con un impacto internacional.

No obstante lo anterior, los retos continúan planteándose con el fin de fortalecer tan destacada plataforma de la investigación institucional, empeñando nuestro esfuerzo para convertir esta revista en una publicación bilingüe, registrada ante el CONACYT y con el 100% de arbitraje en línea.

Estos son los nuevos desafíos a cinco años de su nacimiento, mismos que estamos seguros habrán de ser alcanzados gracias a la dedicación y entrega de nuestros investigadores, cuya ardua labor es, precisamente, la razón de ser de TECNOCENCIA Chihuahua.

M.C. JESÚS ENRIQUE SEÁÑEZ SÁENZ  
RECTOR

# La profesionalización en enfermería: hacia una estrategia de cambio

## Professionalization of nursing: toward a strategy for change

ELIAZAR GONZÁLEZ CARRILLO<sup>1,3</sup>, ANA MARÍA ARRAS VOTA<sup>2</sup>  
Y B. LETICIA MORIEL CORRAL<sup>1</sup>

### Resumen

La profesionalización de la enfermería, como estrategia y como un proceso de cambio permanente, es una necesidad constante para lograr que las metas de la enfermería estén acordes con las necesidades de atención a la salud, ante una sociedad en continua transformación. Este proceso requiere a la vez cambios en el personal de enfermería, tanto en su manera de pensamiento y comportamiento, así como en su manera de apreciar la salud y la sociedad. Investigadores han tratado de esclarecer los elementos esenciales de la profesionalización de la enfermería, enfocándose al estudio en el conocimiento del entendimiento y experiencias en la práctica del cuidado de la salud. Pero, tal como es observado en los hospitales, la práctica de las enfermeras para aplicar un juicio discreto no es sólo limitada por el alcance médico, sino también por las reglas burocráticas y procedimentales establecidas por la organización en la que trabajan. Así, este artículo pretende mostrar la enfermería como una profesión, describiendo los elementos que la caracterizan, y analizando estos elementos desde la perspectiva sociológica de las profesiones.

**Palabras clave:** desarrollo profesional, reconocimiento social y laboral, cambios de paradigma.

### Abstract

The professionalization of nursing, as a strategy and a process of permanent change, is a constant need to accomplish that the goals of nursing are consistent with the needs of health care to a continuously changing society. This process requires the nursing staff modify its way of thinking and behaving, as well as its way to appreciating health and society. Researchers have tried to elucidate the essential elements of the professionalization of nursing, focusing the study on the knowledge of the insights and experiences in the practice of healthcare, but as it is observed in hospitals, the practice of nurses to apply discrete judgment is not only limited by the medical scope, but also bureaucratic and procedural rules established by the organization where they work. Thus, this article pretends to show nursing as a profession describing the elements that characterize it, and, analyzing these elements from a sociological perspective of the professions.

**Keywords:** professional development, social and labor recognition, paradigm shifts.

### Introducción

**E**l término profesión se define como el proceso de formación que se lleva a cabo dentro de las instituciones de educación superior; sin embargo, el concepto traspasa el mero ámbito escolar, puesto que su desarrollo ha estado ligado de forma permanente a la evolución de las sociedades, en donde ha asumido características que le permiten ser considerado como una institución dentro de la estructura social a la que pertenece (Fernández *et al.*, 2007).

<sup>1</sup> Facultad de Enfermería y Nutriología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Circuito Universitario, Campus 2, Teléfono (614) 238-6000 Ext. 4808.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Chihuahua.

<sup>3</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: egonzales@uach.mx.

La conceptualización de profesión ha evolucionado a través del tiempo, y ha sido producto del desarrollo histórico que la ha creado y renovado por medio de mecanismos de diversa índole, hasta llegar a los procesos modernos actuales. Entre algunas de las características de una profesión se encuentran las siguientes: 1) supone una formación profesional de larga duración, impartida en lugares especializados, 2) el control de actividades profesionales es realizado por un conjunto de expertos en la disciplina, los cuales son los únicos que poseen las competencias para efectuar un registro técnico y ético del ejercicio de la carrera, 3) la profesión está reconocida legalmente por un acuerdo entre la institución educativa formadora y las autoridades, y 4) los profesionistas manifiestan actitud de servicio, que está orientada a cubrir las necesidades de la sociedad. Entre las profesiones abordadas desde la sociología se encuentran: la economía, el derecho, la medicina, la ingeniería y la enfermería.

Los profesionales que ejercieron y ejercen la enfermería desde su inicio temprano como profesión, se han preocupado por su estatus, y por hacer de la disciplina una profesión socialmente respetable dentro de las instituciones que proporcionan cuidado para la salud. Una perspectiva al respecto es la del movimiento para mejorar la posición de las ocupaciones mediante la profesionalización, palabra que si se ve como tal, representa el descontento con la actual posición de la ocupación, y su interés por mejorarla. En Estados Unidos por ejemplo, la enfermería ha tenido aspiraciones más amplias, puesto que esta profesión ha elevado su formación y requisitos de legitimación, y ha persistido en la búsqueda de una mayor independencia (Fridson, en Fernández *et al.*, 2007).

La enfermería profesional, desde su origen, ha tratado de crear conceptos propios, específicos del campo de acción, que han servido como instrumentos para construir modelos y teorías de enfermería; pero este desarrollo no ha sido homogéneo en todos los países, por tanto, esta transformación ha originado que la práctica del cuidado de hace cincuenta años sea diferente en su conceptualización y aplicación.

Distintos factores han intervenido en la profesionalización, como son: los conocimientos

científicos de la disciplina que se han obtenido a partir de las investigaciones, la puesta en práctica de teorías y modelos de enfermería cuando se brinda el cuidado, ejercicio con una toma de decisiones, y un pensamiento crítico que la han conducido hacia mayores oportunidades en el área asistencial, la docencia, la industria, entre otros (Hernández *et al.*, 2003).

Las enfermeras han asumido la responsabilidad de formar sus propios profesionales, de organizar y dirigir los servicios de enfermería, y de iniciar investigaciones encaminadas a incrementar su campo disciplinar. En el campo asistencial, los cambios generados han sido muy significativos, de una actividad basada en el empirismo y centrada en la técnica, se ha pasado a orientar el cuidado con un marco teórico propio, utilizando una metodología lógica y racional, como lo demuestra el uso generalizado del Proceso Atención de Enfermería, y la formulación de diagnósticos de enfermería (García y Martínez, 2007). Por tanto, en este artículo se hará el abordaje de la profesión de enfermería desde la perspectiva de la sociología, detallando algunas de las características que debe reunir como profesión, y se citarán algunos antecedentes del desarrollado de la profesión de enfermería en el contexto local.

Para comprender y dimensionar el comportamiento que ha manifestado el intento por integrar propuestas de desarrollo profesional en la enfermera, es necesario abordar la temática desde dos perspectivas: una histórica y otra sobre los aspectos relacionados con la profesionalización. Ambos son abordados a continuación.

## Desarrollo histórico de la enfermería

La figura profesional de la enfermera tiene antecedentes históricos distintos, dependiendo del país en que se investigue. En España, en 1915, se creó la figura profesional de la enfermera, pero la práctica siempre fue supeditada y considerada como auxiliar de la medicina, marcada fuertemente por el género. Al entrar a la universidad, la enfermería trataba de elevarse como disciplina con un cuerpo de conocimientos propio, y con la utilización de un juicio clínico por parte de las enfermeras en la aplicación de los cuidados. Para ello, disponía de toda una base teórica desarrollada en Estados Unidos



(mayoritariamente), específica de la disciplina y en continuo avance (Brito, 2007); el problema radicó y ha permanecido en la práctica de la teoría de la enfermería; para subsanar este dilema, el Proceso Atención de Enfermería (PAE) fue la fórmula ideal para llevar a cabo un plan de actuación, del cual la enfermera era la principal responsable como gestora y brindadora de cuidados.

Los conocimientos de una profesión también contienen otros elementos como son: cogniciones específicas, categorías que involucran los saberes que le permiten identificarse como profesión y la capacidad para generar representaciones y reflexiones poderosas sobre las ideas sustanciales que la caracterizan. Salazar (2005) menciona que la profesión de enfermería debe ofrecer conocimiento sobre el objeto de estudio, bases científicas que la sustenten, teorías, modelos y conceptos que integren la base de conocimientos, y ostentar un volumen de investigaciones del fenómeno de estudio, realizadas por los miembros de la comunidad.

La enfermería como profesión se ha desarrollado acorde a las etapas históricas del país, y su práctica responde, por una parte, a los avances de la medicina científica, y por otra, a los procesos económicos y políticos del mundo en general y de México en particular. Durante las primeras décadas del siglo XX, la educación en enfermería fue organizada y dirigida principalmente por el gremio médico, de acuerdo con el modelo «biologicista» existente.

En el caso particular de Chihuahua, al igual que en otros estados de México, la enfermería fue evolucionando desde 1906 hasta 1954, en este periodo se fundaron diversas instituciones de beneficencia para atender a los pacientes; ahí mismo se crearon centros educativos para formar enfermeras, empleando el programa de estudios de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en donde al finalizar el primer año, las estudiantes presentaron evaluaciones y fueron aprobadas un total de 10.

Para el año de 1942, se estableció un convenio en el Hospital Civil, hoy Hospital Central, en el cual la Cruz Roja se instaló en una parte de la institución, y en donde las enfermeras realizaban actividades en el laboratorio de análisis clínicos y administración de anestesia. Al ser fundada la Universidad de Chihuahua

en 1954 (hoy Universidad Autónoma de Chihuahua o UACH), la Escuela de Enfermería y Obstetricia del Hospital Central pasó a formar parte de la misma, dirigida por médicos y enfermeras, quienes además impartían asignaturas referentes a prácticas y técnicas hospitalarias.

Fue hasta 1974 cuando la dirección de la Escuela de Enfermería y Obstetricia de la UACH estuvo ocupada por primera vez por la enfermera en salud pública María Antonieta Silva Lagunas, quien abrió nuevas oportunidades para que las enfermeras chihuahuenses participaran en la preparación de recursos humanos en enfermería (Rodríguez *et al.*, 2003).

Para Chacón (1994), los primeros estudios que se realizaron sobre enfermería, en 1950, se ocuparon de abordarla desde la perspectiva de su filosofía y definición. Durante los años sesenta, el interés de esos estudios se fijó en la importancia de la comunicación interpersonal. A fines de los años setenta, las investigaciones se dirigieron hacia la ciencia de enfermería. A partir de los años ochenta se originó popularidad por el humanismo y la enfermería, o sea, todos los aspectos de las relaciones humanas, no sólo hacia el paciente, sino hacia la propia enfermera. Es relevante mencionar que a pesar de los muchos estudios dentro de la formación de enfermería, no se establece un consenso que sea generalizable sobre su conceptualización.

## Profesionalización en enfermería

En la profesionalización de una actividad siempre intervienen una serie de factores, que en el caso de la profesión de enfermería se pueden considerar de dos modos: la formal y la sociológica, siendo ambas decisivas para el reconocimiento de la enfermería como profesión. Las organizaciones formadoras de profesionales de enfermería continuamente se están renovando para elevar la calidad de la profesión; se actualizan en los aspectos de cambios de programas formativos, en las normas legales que regulan la educación, y en el ejercicio profesional. Las asociaciones profesionales de enfermería tienen como objetivo colaborar para mantener la calidad de la educación, de igual forma en el servicio que se brinda a la sociedad, y regular la profesión (García y Martínez, 2007).

La profesión como ocupación que proporciona un medio estable de vida y un estatus socialmente reconocido, recibió un estímulo adicional a medida que el desarrollo científico y tecnológico fue incorporándose a los procesos productivos y de organización del trabajo. Gracias al desarrollo de dichos procesos, la profesión vino a separarse definitivamente de los oficios, por su nueva posición frente al conocimiento y a la praxis (Uricoeches, s.f.).

Existe un gran debate entre el gremio de la enfermería con respecto a si la categoría profesional plena se ha alcanzado dentro de los campos laborales, a pesar de que han conquistado nuevas relaciones y espacios donde ha precisado demostrar diferentes competencias, no sólo de carácter intelectual, sino también manifestar la capacidad de negociar en beneficio de las personas a las cuales brinda el cuidado; sin embargo, un número considerable se cuestiona si se ha logrado la categoría profesional total, y existe todavía cierta confusión en cuanto a la condición disciplinar de enfermería; esto se debe a las diferentes definiciones de la profesión que se han generado en los países con mayor desarrollo en la teoría y práctica de enfermería, como es el caso de España, Estados Unidos, Brasil y Colombia, entre otros (Schwirian, 1999).

La profesión de enfermería requiere de conocimientos profundos, flexibles y cualificados del contenido disciplinar, y debe estar compuesta por teorías, modelos y constructos que apoyen su desarrollo; estos conocimientos se sustentan en la investigación de los fenómenos que se presentan durante el ejercicio, así como del cuidado como objeto de estudio de la profesión (Gutiérrez-Meléndez, 2008).

Un avance que es necesario reconocer, es que las instituciones educativas, tanto universitarias como de formación de profesionales generales y técnicas en España y México, han promovido el uso del Proceso Enfermero como método de trabajo. Hoy en día, la mayoría de las enfermeras técnicas y las licenciadas en enfermería conocen parcial o totalmente este método; en las últimas décadas se ha generado un cambio hacia la modernidad con relación a la certificación de la licenciatura en enfermería, los docentes y las categorías existentes

en las unidades hospitalarias, con el propósito de que se dejen atrás hábitos y costumbres que acompañan el ejercicio cotidiano, por una actitud de desarrollo coherente con los tiempos que se están viviendo, y mostrar una cultura profesional (Rodríguez *et al.*, 2003).

Otro aspecto relevante de citar, es que el ámbito de acción de la enfermera profesional se amplió, y con ello los mercados laborales se abrieron, pues quien ostenta un título en enfermería, además de la asistencia clínica y la gestión del cuidado en todos los niveles de complejidad, también participa en la industria, la educación, la investigación y la práctica independiente, entre otras (Organización Mundial de la Salud, OMS, 2005).

La sociología de las profesiones plantea que existen elementos o requisitos que debe cumplir una profesión, y la enfermería, al igual que otras disciplinas, se caracteriza porque durante la realización de su praxis, se comunica con sus pares y con el usuario mediante un *lenguaje técnico común*, concebido este como el proceso para producir y recibir textos relacionados con el quehacer de la enfermería.

Dentro del Marco Común Europeo (2001) se define al lenguaje técnico como los términos para que la comunidad disciplinar tome conciencia de las restricciones que impone el contexto académico y profesional de la comunicación. Son estructuras para la información en el ámbito de desempeño que les permiten participar, con un grado suficiente de autonomía, en las prácticas comunicativas propias de la colectividad, y todo este bagaje se manifiesta a través de la expresión escrita, por medio de artículos científicos donde se exponen avances en la profesión, publicados en revistas de enfermería de prestigio, donde el profesionista se comunica con el gremio con un lenguaje técnico, acorde al contexto donde se desarrolla y con enunciados orales claros hacia el paciente, de acuerdo al nivel que se maneja.

Otra categoría establecida por la sociología es la *autonomía*, ésta es percibida por los profesionales de la enfermería como la habilidad para cumplir las metas del cuidado de la práctica independiente con otros cuidadores de la salud. Igualmente para Cárdenas (2005), autonomía significa que los

practicantes de una profesión tienen la capacidad para controlar sus actividades profesionales en el ambiente de trabajo; implica independencia, disposición, correr riesgos y responsabilidad de los propios actos, así como la auto determinación y auto reglamentación de la organización social del trabajo, en su contenido técnico y en la selección de sus condiciones económicas.

La autonomía en el ejercicio profesional implica libertad para hacer juicios clínicos y tomar decisiones dentro del ámbito o alcance de la práctica profesional. Para Tapp *et al.* (2005) la autonomía en la práctica implica aplicar un cuerpo de conocimientos de la disciplina, la cual ha sido vista como un indicador importante de que enfermería es sin duda una profesión notable en su derecho propio. La autonomía también ha sido relacionada con la toma de decisiones asertivas, coherentes, con la habilidad para solucionar problemas, con autoridad y responsabilidad en cada una de sus intervenciones; de igual manera, con la libertad de actuar en lo que se sabe hacer y la habilidad para desempeñar funciones en forma independiente.

Otro elemento de la profesión es la llamada *credencialización*, definida como el conjunto de componentes que identifican que una profesión puede ser ejercida por sus miembros, y que la ley y la sociedad la reconocen como tal (Fernández *et al.*, 2007). La credencialización se da a través del proceso de formación que la institución educativa establece, un examen profesional formulado y administrado por la misma, ser portador de un título con validez oficial, ejercer la profesión con vocación para ofrecer el servicio a la sociedad, estar basada en el entrenamiento y contar con el documento tangible que acredita el proceso de formación que lo acredite como miembro de la comunidad científica, o de organizaciones profesionales.

En la actualidad, según Reyes (2006), existen diversas organizaciones de profesionales debidamente constituidas, autónomas y con una multiplicidad de objetivos voluntarios, con metas comunes para establecer un liderazgo en defensa de los más claros derechos de sus miembros. Para Navarro (2006), la «colegiación» (trabajo colegiado o conjunto entre profesionales de la misma disciplina), es definida como

sociedades profesionales o entes corporativos, que tienen su base en una comunidad de personas con intereses comunes, que el Estado considera jurídicamente relevante y les otorga, en virtud de ello, personalidad para que actúen en el mundo legal. En México existen diversas organizaciones de enfermería, algunas con carácter local, nacional e internacional, como son: el Colegio Nacional de Enfermeras, A.C. (CNE) y Federación Mexicana de Asociaciones de Facultades de Enfermería, A.C. (FEMAFEE). Estas entidades agrupan a un gran número de profesionales de la enfermería, integrados en comunidades que tienen los mismos objetivos, como son: elevar la calidad académica de los estudiantes y docentes que integran las instituciones educativas de enfermería, con la finalidad de transformar la enseñanza y se dé respuesta a la nuevas generaciones sobre una mejor formación y una práctica con mayor autonomía; así mismo, inciden las entidades en la revisión y estructuración de los planes de estudio para el mejoramiento del proceso enseñanza-aprendizaje, pero además tienen personalidad jurídica para actuar en bien del gremio.

Otro aspecto importante que distingue a la enfermería es la *autorregulación profesional*, que es otro de los requisitos que establece la sociología de las profesiones para definir el nivel de competencias e importancia social de la profesión; este proceso se caracteriza fundamentalmente porque las personas que pertenecen a dicha profesión establecen las normas y modelos apropiados, generados por el trabajo consensuado de sus miembros, se identifican con sus pares y logran una fuerte noción de colectividad.

Otra acepción de la autorregulación es entendida como la capacidad de una profesión para controlar su ejercicio dentro de la sociedad (Cárdenas, 2005). Para la Asociación Latinoamericana de Facultades y Escuelas de Enfermería (ALADEFE), la autorregulación comprende el proceso de elaboración e implementación de reglas y estándares técnicos que orientan las relaciones entre actores para racionalizar el intercambio de bienes y servicios. Morán (2006); concibe la regulación como el término con que se describen las metodologías empleadas para inducir responsabilidad en el ejercicio profesional, con el fin de proteger al público. No



obstante, para Nájera *et al.* (2008), es un proceso de elaboración e implementación de reglas y estándares técnicos que orientan las relaciones entre actores, para racionalizar el intercambio de bienes y servicios. Dentro de esta misma reglamentación se regulan las competencias técnicas, la responsabilidad profesional y la eficiencia.

La autorregulación en la profesión de enfermería se manifiesta por el establecimiento e implementación de estándares de formación y ejercicio de la profesión, se reglamenta mediante el registro de licencias emitidas por instituciones debidamente acreditadas. Para mantener un registro del número de profesionales de la enfermería que la ejercen, se requiere organizar y llevar a cabo exámenes de certificación y acreditación, y crear comités para defender o aplicar medidas disciplinarias, esto con el fin de obtener mejores niveles de reconocimiento social.

La función de una profesión es la responsabilidad que tiene en la sociedad, es decir, la razón de ser o fin último para la que ha sido creada; en definitiva, lo que hace y que ninguna otra profesión puede ofrecer; en el caso de enfermería, la responsabilidad, la razón de ser y el fin último ante la sociedad es cuidar, conceptualizado como una entidad diferenciada que se caracteriza por la relación integral con otro ser, donde ambos reaccionan y se relacionan como personas; el profesional de la enfermería que cuida no considera al ser cuidado como una mera categoría patológica o como rol (paciente), sino como una persona única (Waldow, 2004) en la que visualiza problemas de salud que requieren de conocimientos, destrezas y actitudes que sólo se adquieren con el estudio profundo y sistemático de la sociedad, el hombre, la salud y la propia enfermería (García y Martínez, 2007).

La utilidad profesional y el prestigio social son indicadores de reconocimiento social. De esta manera, si el prestigio que una profesión tiene en la sociedad es superior a la utilidad social percibida, entonces se considera que esa ocupación tiene excesivo poder. Cárdenas (2005), menciona que partir de que la enfermería entra en la llamada época moderna, que surgió a principios del siglo XX, y al hacer un recuento del camino recorrido por los profesionales de la enfermería, se percibe una incongruencia entre los niveles académicos

alcanzados con el trabajo desempeñado, el reconocimiento social y el prestigio obtenido, esto se ve reflejado principalmente en aquellos profesionales que ocupan diversos cargos o puestos en las instituciones de salud, que son una minoría, y que adquieren relevancia cuando esas instituciones son calificadas como unidades de calidad; sin embargo, el salario y las condiciones laborales son aspectos que el sistema de salud o empleadores no han modificado favorablemente para verse reflejado en los ingresos salariales más que en el mero reconocimiento social.

## Conclusiones

A partir de esta breve revisión por los elementos que caracterizan la profesión de enfermería desde la sociología de las profesiones, se puede concluir que ésta, como disciplina moderna, aún tiene muchos obstáculos que vencer; el proceso de profesionalización es un camino largo y en ocasiones difícil, puesto que cambiar el conocimiento práctico, los usos y las técnicas, hacia el conocimiento científico, es un reto que no todos los profesionales de la enfermería quieren realizar en el mundo asistencial donde se encuentran inmersos la mayoría de de ellos.

Se deben efectuar cambios estructurales para hacer visibles los componentes que distinguen a la profesión de enfermería, como son: conocimiento científico, autonomía, unidad y reconocimiento social; a pesar de que se cuenta con una autorregulación, esta no es suficiente para establecer sistemas de homogeneidad respecto a las condiciones laborales, salarios e incentivos, que son variables según la categoría y la dependencia de salud de que se trate, incluyendo la certificación y otros beneficios que la profesional de enfermería debe poseer.


Respecto a la autonomía, esta es parcialmente ejercida, puesto que si se analiza a profundidad en el sistema de salud y en la práctica hospitalaria, la enfermera desempeña los roles disciplinares realizando actividades dependientes (en su mayoría), interdependientes e independientes, esto derivado de una cultura, de una historia y de una organización donde es más conveniente depender del área médica que tener la responsabilidad de la toma de decisiones al ejecutar el plan de cuidados.

Otro punto por demás relevante es la colegiación, que debería ser la fuerza impulsora para obtener avances significativos para la profesión, como son: alcanzar espacios políticos que luchen por mayores beneficios gremiales, acreditación de todos sus miembros y obtener campos laborales sin riesgos, entre otros; sin embargo, todo profesional de enfermería, como requisito para obtener el grado, deberá estar reconocido por alguna asociación profesional; aunque existe cierto desánimo en la participación y poco involucramiento en la toma de decisiones respecto al rumbo profesional de la disciplina.

Respecto al reconocimiento social, es necesario que las instituciones educativas y las instituciones laborales realicen acciones para que a través de ellas muestren una imagen profesional de la enfermería, haciendo visible el cuidado, mostrando científicidad, competencia, asertividad en la toma de decisiones y la capacidad de resolver problemas de salud del usuario y familia, en interdependencia con otras disciplinas.

En el proceso hacia la profesionalización en enfermería, el camino que se recorre a veces es arduo, puesto que se deben generar cambios, de una práctica técnica a un cuidado innovador centrado en la persona, en la recuperación de la salud, en la prevención de la enfermedad y sustentado en el conocimiento científico. El punto de partida son las instituciones educativas formadoras de profesionistas, es decir, el modelo de enseñanza universitaria, pero en la actualidad y en el contexto local, aún persisten las escuelas financiadas por las unidades hospitalarias respaldadas por consorcios médicos, que forman profesionales técnicos que se insertan en los mismos campos laborales que los profesionales de la enfermería (nivel licenciatura) y, en ocasiones, con la misma categoría laboral y salarial. De igual manera, las instituciones empleadoras deben realizar reformas en su estructura, primero para delimitar funciones y después para situar al profesional de enfermería en los puestos clave, donde se realice la gestión del cuidado, y este sea reconocido por la sociedad como un servicio privativo de la enfermería profesional.

## Literatura citada

- BRITO, P. R. 2007. Enfermería como ciencia emergente. *Revista de Enfermería*, pp 41-44.
- CÁRDENAS, L. 2005. La profesionalización de la enfermera en México: un análisis desde la sociología de las profesiones (1ª ed.). Barcelona, Esp.: Ediciones Pomares, pp 37,84
- CARDOS, P., Scharagrodsky, C., Szychowski, A. 2009. Inserción del psicólogo en el campo educativo: presentaciones sociales sobre su formación y sus prácticas profesionales, Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Psicología.
- CHACÓN, L. 1994. Conceptualización de enfermería. *Revista de Enfermería del Instituto Mexicano del Seguro Social*, Vol.6, Nº 1.
- GUTIÉRREZ-MELÉNDEZ, L. 2008 Formación profesional factor determinante en el ejercicio profesional con calidad en enfermería. *Revista Enfermería Instituto Mexicano del Seguro Social*, nº 16, p 124.
- GARCÍA, C., Martínez, M.L. 2007. Historia de la enfermería: Evolución histórica del cuidado enfermero. 1º ed. Madrid, Esp: Elsevier. P 164.
- HERNÁNDEZ, J.M., Moral, P., Esteban, M. 2003 Fundamentos de la enfermería: Teoría y método, 2a edición, Aravaca, Madrid.
- FERNÁNDEZ, J.A., Barajas, G. Barroso, L. 2007. Profesión, ocupación y trabajo. (1º ed.). Madrid, España: Pomares, pp 15, 22, 26.
- MARCO COMÚN EUROPEO PARA LAS LENGUAS: Aprendizaje, enseñanza y evaluación, 1ª ed. 2001. Madrid, Esp: Ministerio de Educación y Cultura, p 2
- MORÁN, L. 2006. La regulación y educación en enfermería: Nuevos determinantes. Ponencia presentada en el XIII curso OPS/OMS-CIESSL Legislación en Salud, 4-8 de septiembre 2008 México D.F., p 2.
- NAJERA, R.M., Castrillón, M.C. Manfredi, M. 2008. Propuesta para el desarrollo y fortalecimiento de la enfermería en América Latina y el Caribe. (1ª ed.) México, D.F. Universidad Autónoma Metropolitana.
- NAVARRO, R. A. 2006. El ejercicio profesional y la responsabilidad penal, civil, administrativa y ético: disciplinaria derivada de su ejercicio. *Revista Gestión*, Vol. 14, Nº 1, pp 1,2.
- REYES, E. 2006. La regulación y educación en enfermería: nuevos determinantes. Ponencia presentada en el XIII curso OPS/OMS-CIESSL Legislación en Salud, 4-8 de septiembre 2008 México D.F. p. 2.
- RODRÍGUEZ, A., Gutiérrez, M. T., Muruato, L., García, C., Moriel B. L. 2003. Enfermería en Chihuahua: el despertar de una profesión, (1ª ed.) México, pp 33, 34,62, 70,
- SALAZAR, S.F. 2005. El conocimiento pedagógica del contenido como categoría de estudio de la formación docente, *Revista electrónica: actualidades de investigación en educación*. Vol. 5 Nº 2 Costa Rica, p 13
- SCHWIRIAN, P. M. 1999. Capítulo 1: profesiones y la profesionalización de enfermería = Profesionalization of Nursing: Current Issues and Trends. (3ª ed.). Estados Unidos: Lippincot. 1998 p 1.
- TAPP, D.; Stansfield, K., Stewart, J. 2005. La autonomía en la práctica de enfermería. *Aquichan*, Vol. 5, Nº 1.
- URICOECHA, F. (s.f.). La profesionalización académica en Colombia, guías para la Investigación. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- WALDOW, V.R. 2008. Cuidar: expresión humanizadora, (1º ed.) México: Nueva Palabra, 119, 120. 

Este artículo es citado así:

González-Carrillo, E., A. M. Arras-Vota y B. L. Moriel-Corral. 2012: *La profesionalización en enfermería: hacia una estrategia de cambio*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 6(1): 1-8.

## Resúmenes curriculares de autor y coautores

**ELIAZAR GONZÁLEZ CARRILLO.** Terminó la licenciatura en el año 2004, en febrero de 2005 le fue otorgado el título de Licenciado en Enfermería por la Facultad de Enfermería y Nutriología de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Obtuvo el grado de maestro en enfermería en la Facultad de Enfermería y Nutriología de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) en 2008. Actualmente cursa el Doctorado en Educación en la Facultad de Filosofía y Letras de Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Desde 2001 labora en la Facultad de Enfermería y Nutriología, posee la categoría de académico asociado «A» de tiempo completo; su área de especialización es la enfermería pediátrica, la administración y gestión de los servicios de enfermería, y desde 2010 imparte la asignatura de metodología de la investigación. Actualmente dirige cuatro tesis de estudiantes de la Maestría en Enfermería en la ciudad de Los Mochis, Sinaloa. Participó en dos reportes técnicos de cuatro estudiantes de Licenciatura en Enfermería. Es autora de un modelo de cuidado en enfermería, el primer avance fue publicado en la Revista de Educación y Desarrollo, del Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara, en 2007.

**ANA MARÍA DE GUADALUPE ARRAS VOTA.** Es Licenciada en Ciencias de la Comunicación, egresada del ITESO. Maestra en Administración por la Universidad Autónoma de Chihuahua y Doctora en Ciencias de la Administración egresada de la Universidad Nacional Autónoma de México. Académica e investigadora en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1, en el área de Economía de 2007 – 2010 y perfil PROMEP. Dirige tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Línea de investigación: Administración, Agrotecnología y Educación. Es autora del libro *Comunicación Organizacional*, y La acción comunicativa, estrategia de poder y agente de cambio en las prácticas organizacionales; y coautora de *Lenguaje y Comunicación, La administración y su aplicación a empresas agropecuarias, Competencias en TIC y rendimiento académico en la universidad, diferencias por género, además de varios capítulos de libros*. Le han publicado diversos artículos en revistas arbitradas e indexadas, destacando: Percepción de estudiantes de educación superior sobre sus competencias en las TIC en las universidades Autónoma de Chihuahua y Veracruzana. Estrategia y educación superior. Competencias en Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) de los estudiantes universitarios, Granja Renacer: agronegocio familiar que fructifica al incorporarse en redes de conocimiento, Comunicación y cambio organizacional. Visión de la Administración Agrotecnológica como profesión, Ética, estrategia para pequeños y medianos productores y Redes de colaboración, estrategia empresarial en la inserción a cadenas de valor. Es evaluadora de proyectos de investigación del CONACYT y árbitro de una revista científica indexada.

**BERNARDINA LETICIA MORIEL CORRAL.** Terminó su Licenciatura en 1978, año en que le fue otorgado el título de Licenciada en Enfermería por la Escuela de Enfermería y Obstetricia de la Universidad de Guanajuato. Realizó su posgrado en Chihuahua, Chih. México, donde obtuvo el grado de Maestría en Administración en 1996 por la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) y estudios de Doctorado en Ciencias de la Educación en 1998 por el Instituto Superior de Estudios Pedagógicos. Instituto Pedagógico de Estudios de Posgrado de la Secretaría de Educación Pública de Guanajuato. Desde 1974 labora en la Facultad de Enfermería y Nutriología de la UACH y posee la categoría de Académico Titular C. Ha sido miembro de los Comités Interinstitucionales para la Evaluación de la Educación Superior por el área de la Salud CIEES\_ ANUIES par académico titular desde 1993 a la fecha. Ha dirigido 48 tesis de Licenciatura y 15 de Maestría; es autora de aproximadamente 20 artículos científicos, un libro, más de 40 ponencias en congresos y dos capítulos de libros científicos. Ha impartido 45 conferencias por invitación y ha dirigido 3 proyectos de investigación financiados, con los que se han titulado más de 10 profesionistas de enfermería. Es evaluadora de proyectos CONACYT para otorgar el reconocimiento de programas de posgrado de calidad y es evaluadora del Programa de Mejoramiento del Profesorado, PROMEP y ha sido árbitro en dos revistas científicas, una de la Universidad de Guanajuato (Acta Universitaria) y otra de la UACH (Synthesis).



# Mapas externos de preferencias de jueces entrenados y consumidores: comparación del desempeño y determinación de la preferencia

External preference maps of trained judges and consumers:  
a comparison of the performance and determination of the preference

JULIANA LÓPEZ-VELÁZQUEZ<sup>1</sup>, TANIA GÓMEZ-ALVARADO<sup>1</sup>, MARÍA HERNÁNDEZ-CERVANTES<sup>1</sup>, RODRIGO SANTIAGO-CABRERA<sup>1</sup>, LORENA GUADALUPE RAMÓN-CANUL<sup>2</sup>, JOSÉ MANUEL JUÁREZ-BARRIENTOS<sup>3</sup>, FÁTIMA KARINA DELGADO-VIDAL<sup>3</sup>, EMMANUEL DE JESÚS RAMÍREZ-RIVERA<sup>3</sup>

*Recibido: Agosto 31, 2011*

*Aceptado: Noviembre 29, 2011*

## Resumen

Para la realización de este estudio se entrenó un panel constituido por seis personas, las cuales evaluaron los atributos: color blanco, textura granulosa al tacto, suave al tacto, olor a cuajo, salado, grumoso en boca, suave en boca y aroma a suero. También se contó con dos grupos de 400 consumidores, donde un grupo evaluó características sensoriales y el segundo grupo evaluó la apreciación global. Los resultados del ANOVA de tres factores mostraron que el panel entrenado fue discriminante en todos los atributos, mientras que el ANOVA de dos factores reveló que los paneles de consumidores fueron discriminantes en seis atributos; el ACP reveló similitudes entre ambos paneles para el posicionamiento de los quesos en el espacio sensorial. El MEP reveló que los consumidores del municipio de Asunción Ixtaltepec y de San Pedro Comitancillo pudieron identificar y preferir el queso que se elabora en su municipio, caso contrario a los consumidores pertenecientes a Santo Domingo Ingenio y Juchitán de Zaragoza. Los resultados del MEP generados con los datos descriptivos evaluados por el panel entrenado y el panel de consumidores fueron complementarios; esto quedó demostrado por el  $R^2$  ya que en algunos casos, la explicación de la preferencia de alguna clase no pudo ser determinada mediante el MEP con los datos del panel entrenado. Por tal motivo, el vocabulario que se genere a través de un panel entrenado también puede ser evaluado mediante paneles de consumidores para la generación del MEP, el cual es una alternativa rápida para la determinación de la preferencia basado en un lenguaje completamente de consumidores.

**Palabras clave:** Perfiles sensoriales, consumidores, jueces entrenados, mapa externo de preferencias.

## Abstract

For this study, a panel of six judges was trained to evaluate attributes in cheese as white color, granular texture to the touch, soft to the touch, smell of rennet, salty, lumpy in the mouth, soft on the palate and aroma to serum. There were also included two groups of 400 consumers; where a group evaluated the sensory characteristics and the second group evaluated the overall assessment. Three-way ANOVA results showed that the trained panel discriminated all attributes, while the two-way ANOVA revealed that the group of consumers discriminated six attributes. Principal components analysis revealed similarities between both panels to the positioning of the cheeses in the sensory space. The EPM revealed that consumers from the municipalities of Asuncion Ixtaltepec and San Pedro Comitancillo were able to identify and prefer the cheese made in their municipality; contrary to this, consumers from Santo Domingo Ingenio y Juchitan de Zaragoza were not able to identify or prefer their own. The EPM results generated with the descriptive data evaluated by the trained panel and consumer groups were complementary, and this was demonstrated by the  $R^2$  since in some cases the explanation of the preference of some kind, could not be determined by EPM with the trained panel data. For this reason, the vocabulary that is generated by a trained panel can be also evaluated by a consumer panel to generate the EPM, which is a fast alternative for the determination of preference based on a language entirely of consumers.

**Keywords:** Sensory profiles, consumers, trained judges, external preference map.

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Comitancillo. Carretera Ixtaltepec-Comitancillo Km. 7.5, San Pedro Comitancillo, Oaxaca.

<sup>2</sup> Universidad de la Sierra Sur. Calle Guillermo Rojas Mijangos s/n, Avenida Universidad, Colonia Ciudad Universidad, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

<sup>3</sup> Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel. Colonia Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Pochutla, Oaxaca.

<sup>4</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: [oax2010@hotmail.com](mailto:oax2010@hotmail.com).

## Introducción

La evaluación sensorial es un instrumento importante en la caracterización cuantitativa de los atributos de los productos, en la literatura esto se conoce como un análisis descriptivo o un perfil sensorial. Los análisis descriptivos más sofisticados involucran la discriminación y la descripción de componentes sensoriales cuantitativos y cualitativos.

Actualmente existen varios métodos para describir las características sensoriales de un producto; sin embargo, el análisis descriptivo cuantitativo (QDA<sup>®</sup>) es la técnica ideal y frecuentemente usada para la caracterización sensorial de los alimentos, la cual es realizada mediante jueces entrenados; sin embargo, dicha metodología sensorial tiene como desventaja el tiempo de entrenamiento de los jueces sensoriales, que a su vez se traduce en una inversión excesiva de dinero (Guárdia *et al.*, 2010; Worch *et al.*, 2010). Por otro lado, el ámbito sensorial cuenta con una segunda vertiente que está íntimamente relacionada con el análisis hedónico, y que al tener una conexión con la parte descriptiva, se convierte en una poderosa herramienta para el diseño, formulación y optimización de nuevos productos, a esta herramienta se le conoce como el mapa de preferencias (MP) (Schilich y McEwan, 1992; Thompson *et al.*, 2004; Semenou *et al.*, 2007) y es de gran importancia para poder entender la preferencia o rechazo de los consumidores en base al análisis descriptivo sensorial efectuado por jueces entrenados; sin embargo, es importante mencionar que las investigaciones de mercado que efectúan las diferentes empresas en alimentos requieren de información rápida sobre sus productos, por lo tanto, no siempre cuentan con la posibilidad económica y de infraestructura para entrenar un panel; es por ello que el uso de la percepción de los consumidores para la evaluación de características sensoriales puede ser una alternativa rápida para su posterior construcción de mapas de preferencias (MP). Paradójicamente, es bien aceptado que los consumidores pueden generar perfiles sensoriales de productos mediante el empleo

de técnicas de caracterización sensorial de tipo vocabulario libre, como el *Free Sorting Task*, *Perfil Flash*, *Napping*<sup>®</sup>, entre otras (Chollet y Valentin, 2001; Dairou y Sieffermann, 2002; Perrin *et al.*, 2008); sin embargo, el uso de la percepción de los consumidores para la evaluación de perfiles estándar de tipo QDA<sup>®</sup> sigue siendo objeto de crítica entre los investigadores del ámbito sensométrico, es por ello que trabajos como el de Husson *et al.* (2001); Lelièvre *et al.* (2008); Drake *et al.* (2009b) y Worch *et al.* (2010) han demostrado que la percepción de consumidores es comparable a la percepción de los panelistas entrenados. Es por todo lo anterior que el presente estudio cuenta con tres objetivos: (1) comparar el desempeño de un panel entrenado y un panel de consumidores en la evaluación de una lista consensual de atributos sensoriales, (2) realizar mapas externos de preferencia (MEP) por municipio para determinar si los consumidores de un mismo lugar pueden preferir el queso que se elabora en su localidad y (3) comparar la eficiencia de los mapas externos de preferencia (MEP) generados mediante los atributos evaluados por el panel entrenado y el panel de consumidores.

## Materiales y métodos

*Selección del queso fresco «cuajada».* Se evaluaron cuatro quesos frescos denominados «cuajada», elaborados en cuatro diferentes municipios de la región del Istmo de Tehuantepec, en el estado de Oaxaca. El primer queso fue elaborado en el municipio de San Pedro Comitancillo, localizado a 95° 09' longitud oeste, 16° 29' latitud norte, a 70 msnm. El segundo queso fue elaborado en el municipio de Santo Domingo Ingenio, ubicado a 94° 46'

longitud oeste, 16° 35' latitud norte, a 40 msnm. El tercer queso fue procesado en el municipio Asunción Ixtaltepec, ubicado a 95° 03' longitud oeste y 16° 30' latitud norte, a 30 msnm. El cuarto queso fue elaborado en el municipio de Juchitán de Zaragoza, con coordenadas geográficas de latitud norte 16° 26', longitud al oeste de 95° 01', a 30 msnm.

Los quesos fueron empacados al vacío en porciones de 1 kg mediante un equipo de la marca Multivac® modelo C350 de la empresa Multivac de México, y posteriormente fueron transportados a los diferentes sitios de estudio en un contenedor de refrigeración con una temperatura de 4 a 5 °C. Previo al estudio sensorial se mantuvieron por un lapso de 1 h a 25 °C y posteriormente las muestras de queso fueron cortadas en forma de cubos de 3.5 x 3.5 cm para su evaluación. Los quesos fueron codificados de la siguiente manera (Producto A = Santo Domingo, Producto B = Juchitán, Producto C = Ixtaltepec, Producto D = Comitancillo) (Hirst *et al.*, 1994; Bárcenas *et al.*, 2004; Drake *et al.*, 2009a; Drake *et al.*, 2009b).

*Conformación del panel y entrenamiento sensorial.* Para la formación del panel entrenado se realizó una invitación mediante un cartel que se colocó en los lugares de mayor circulación del Instituto Tecnológico de Comitancillo, donde se especificó el lugar, la fecha y la hora en que se llevaría a cabo la entrevista. Se entrevistó a cada sujeto con el objetivo de obtener sus datos personales; se tomaron en cuenta algunas características fundamentales para el estudio como: habilidad, disponibilidad, interés, desempeño, hábitos alimenticios, estado de salud y la no aversión al producto. Se aplicaron pruebas preliminares para evaluar el nivel de discriminación sensorial con pruebas de detección de sabores básicos, pruebas discriminatorias (dúo-trío, triangular y comparación por pares), el tratamiento de los resultados de estas pruebas se realizó mediante el análisis secuencial para determinar qué sujetos eran aptos para entrar a la fase de entrenamiento. La fase de entrenamiento

estuvo compuesta por un panel de seis estudiantes (dos hombres y cuatro mujeres) con edades de 18 a 20 años, pertenecientes al Instituto Tecnológico de Comitancillo, a los cuales se les preparaba y codificaba las muestras, posteriormente se les daba la bienvenida y se les explicaba cuál era el objetivo de cada sesión y las formas de percibir las características sensoriales de cada uno de los productos como son: olor, textura en boca, sabor y aroma.

Para la obtención de una lista consensual se realizaron dos sesiones para extracción de atributos, y posteriormente se procedió a la eliminación y selección de los términos sensoriales de acuerdo a los procedimientos descritos por la norma AFNOR ISO 11035:1995. Los atributos que conformaron la lista final y los cuales fueron evaluados por ambos tipos de paneles (entrenados y consumidores) fueron: color blanco, textura granulosa al tacto, suave al tacto, olor a cuajo, salado, grumoso en boca, suave en boca y aroma a suero sobre una escala continua de 0 a 9, donde 0 significa de débil intensidad y 9 de fuerte intensidad (Husson *et al.*, 2001). Se realizaron 25 sesiones de entrenamiento con una sesión de repetición para la evaluación del desempeño del panel, cada sesión tuvo una duración aproximada de 45 a 60 minutos (Stone *et al.*, 1974; AFNOR ISO 11035:1995).

*Paneles de consumidores.* Se evaluaron los atributos sensoriales antes mencionados por paneles de consumidores (seleccionados al azar) de los cuatro municipios productores del queso fresco «cuajada». El estudio incluyó 100 consumidores por municipio, para un total de n = 400 consumidores; en el municipio de Santo Domingo Ingenio participaron 62 hombres y 38 mujeres, y el estudio fue realizado en las instalaciones del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario CBTA # 9. En el municipio de Juchitán de Zaragoza participaron 42 Hombres y 58 mujeres, y el estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios CBTIS # 205.

En el municipio de Ixtaltepec participaron 68 hombres y 32 mujeres, y el estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de estudios Científicos y Tecnológicos CECYTE. Por último, en el municipio de Comitancillo participaron 52 hombres y 48 mujeres, y el estudio se realizó en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Comitancillo. Los consumidores fueron seleccionados de forma aleatoria (Ngapo *et al.*, 2004). Las muestras de queso fueron presentadas de manera simultánea múltiple a los dos tipos de paneles (Mazzucchelli y Guinard, 1999).

*Mapa externo de preferencias (MEP).* Se utilizó un segundo grupo de 400 consumidores (100 consumidores por cada municipio productor del queso cuajada), los cuales evaluaron solamente la apreciación global del queso utilizando una escala hedónica de nueve puntos con leyendas en los extremos, donde 1 significa «me disgusta extremadamente y 9 «me gusta extremadamente» (Young *et al.*, 2004; Drake *et al.*, 2009a; Drake *et al.*, 2009b). Los resultados de este segundo grupo de consumidores fueron relacionados con los datos del panel entrenado y la media de los paneles de consumidores que evaluaron los atributos sensoriales, con el objetivo de generar los MEP para su posterior comparación.

*Desempeño del panel entrenado.* Para evaluar el desempeño del panel en aspecto de discriminación, consenso, reproducibilidad y clasificación, se aplicó el siguiente modelo mixto de Análisis de Varianza (ANOVA) a tres factores con interacción:

$$\text{Atributo} = \text{Producto} + \text{Juez} + \text{Sesión} + \text{Interacción (Producto x Juez)} + \text{Error.}$$

Considerando como efecto fijo el factor juez, mientras que los factores producto y sesión fueron considerados como efecto aleatorio (Martin *et al.*, 2000; Pagès y Husson, 2001; Pagès *et al.*, 2007) y tomando la prueba de Fisher (F) como índice del poder discriminante ( $F_{\text{Productos}}$ ), consenso en el uso de

la escala de intensidad ( $F_{\text{Jueces}}$ ), reproducibilidad entre sesiones ( $F_{\text{Sesión}}$ ) y clasificación de los quesos sobre la escala ( $F_{\text{Interacciones}}$ ) con un  $\alpha=0.05$  (Guerrero *et al.*, 2000; Nogueira *et al.*, 2006).

*Desempeño inter-paneles de consumidores.* Para la evaluación del poder discriminante, consenso y clasificación a nivel inter-paneles de consumidores se aplicó el siguiente modelo de ANOVA a dos factores con interacción:

$$\text{Atributo} = \text{Producto} + \text{Municipio} + \text{Interacción (Producto x Municipio)} + \text{Error.}$$

Considerando como efecto aleatorio ambos factores para la evaluación del poder discriminante ( $F_{\text{Productos}}$ ), consensualidad en el uso de la escala de intensidad ( $F_{\text{Municipio}}$ ) y clasificación de los quesos sobre la escala ( $F_{\text{Interacciones}}$ ) con un  $\alpha=0.05$  (Husson *et al.*, 2001; Worch *et al.*, 2010).

*Estudio de la preferencia.* Para el estudio de la preferencia de los consumidores se aplicó un modelo aleatorio ANOVA a dos factores (Producto y Consumidor) para determinar si existen diferencias en la preferencia de los consumidores por municipio con un  $\alpha=0.05$  (Schlich y McEwan, 1992; Gámbaro *et al.*, 2007).

Se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP) para la comparación del posicionamiento de los quesos y atributos en el espacio sensorial, y como base para la generación del MEP con los datos descriptivos del panel entrenado y del panel de consumidores (Nogueira *et al.*, 2006; Ramírez *et al.*, 2010); es importante mencionar que la construcción del ACP perteneciente al panel consumidor se realizó con la media de cada panel consumidor perteneciente a cada municipio para la obtención de un ACP global. Se usó la Clasificación Jerárquica Ascendente (CJA) para la formación de clases de consumidores con el objetivo de tener una mejor visualización de las clases de consumidores en el espacio del MEP (modelo vector); esta técnica fue aplicada solamente a



los datos hedónicos (Shamer *et al.*, 2006; Gámbaro *et al.*, 2007; Schmidt *et al.*, 2010). La evaluación del ajuste de los datos hedónicos-descriptivos para la comparación de los MEP generados con los datos de ambos tipos de paneles fue analizada mediante el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) (Schlich y McEwan, 1992; Guinard *et al.*, 2001). El análisis unidimensional se realizó con el programa Statgraphics® Plus, versión 5.1 (Statistical Graphics Corporation, Warrenton, VA, USA). El procesamiento de datos bidimensionales se realizó con el programa XLSTAT, versión 2009 (Addinsoft, New York, NY, USA).

## Resultados y discusión

*Desempeño del panel entrenado.* Los resultados del ANOVA a tres factores con interacción (Producto x Juez) para la evaluación del desempeño del panel entrenado se muestran en el Cuadro 1, donde el factor producto ( $F_{\text{Productos}}$ ) demostró que el panel pudo encontrar diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre los quesos con los atributos sensoriales evaluados; este resultado es similar a los reportados por Hirst

*et al.* (1994) quienes determinaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) en los atributos sensoriales de olor a cuajo, salado, aroma a suero en queso de pasta dura; este mismo efecto también fue observado por Van *et al.* (2006), quienes encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los atributos salado, aroma a cocido, aroma a diacetil, aroma a grasa de leche y aroma a suero en quesos tipo Chihuahua elaborados con diferentes tipos de leches.

Los resultados del factor juez ( $F_{\text{Jueces}}$ ) (Cuadro 1) demostraron que no existieron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en todos los atributos, con excepción del color blanco, demostrando que los jueces fueron consensuales usando la escala de intensidad de manera similar para la evaluación de los quesos (Martin *et al.*, 2000; Husson y Pagès, 2003). Los resultados del factor sesión ( $F_{\text{Sesión}}$ ) (Cuadro 1) demostraron que no existieron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en los atributos, lo cual se traduce a que el panel es reproducible, ya que otorgó calificaciones similares entre sesiones (Nogueira *et al.*, 2006; Pagès *et al.*, 2007).

**Cuadro 1.** ANOVA a tres factores con interacción (Producto x Juez) para la evaluación del desempeño del panel entrenado.

Atributo	Efecto Producto		Efecto Jueces		Efecto Sesión		Efecto Interacción (Producto x Juez)	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Color blanco	93.48	0	3.12	0.03	1.94	0.16	37.08	0
Textura granulosa al tacto	4.81	0.007	1.57	0.23	0.45	0.64	47.09	0
Suave al tacto	10.59	0.001	0.14	0.97	0.94	0.40	93.6	0
Olor a cuajo	164.58	0	1.07	0.41	0.71	0.50	54.9	0
Salado	5.97	0.002	0.87	0.52	0.87	0.43	1.4	0.21
Grumoso en boca	271.52	0	1.96	0.14	1.26	0.29	69.46	0
Suave en boca	31.77	0	0.56	0.73	4.79	0.02	36.59	0
Aroma a suero	96.48	0	1.38	0.29	1.27	0.29	49.62	0

**Desempeño inter-paneles de consumidores.** Los resultados de la evaluación de los paneles consumidores se muestran en el Cuadro 2, donde el factor producto ( $F_{\text{Productos}}$ ) fue altamente significativo ( $p < 0.001$ ) en seis de los ocho atributos sensoriales, determinando que los paneles consumidores pudieron discriminar los quesos en los todos los atributos, con la excepción de los términos textura granulosa al tacto y olor a cuajo (Husson *et al.*, 2001; Worch *et al.*, 2010). Estos resultados son similares a los reportados por Gómez *et al.* (2010) quienes aplicaron la técnica descriptiva *Perfil Flash* para la obtención de atributos sensoriales en tres diferentes localidades de Oaxaca, México, reportando altos valores de discriminación ( $p < 0.05$ ) en los atributos color blanco, suave en boca y aroma a suero; sin embargo, el concepto de familiaridad con el producto pudo influir en el aspecto de discriminación, donde cada municipio pudo encontrar diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) del queso de su localidad con respecto al resto de los quesos evaluados (Prescott, 1998). Por otro lado, el factor municipio ( $F_{\text{Municipio}}$ ) (Cuadro 2) reveló que sólo se encontraron desacuerdos ( $p < 0.05$ ) (Husson *et al.*, 2001) en el uso de la escala para la evaluación de los quesos en el atributo grumoso en boca, mientras que para el resto de los

atributos, los diferentes paneles consumidores usaron la escala de manera similar para la evaluación de los quesos. La interacción (Producto x Municipio) (Cuadro 2) fue significativa ( $p < 0.05$ ) en los atributos color blanco, textura granulosa al tacto, salado y grumoso en boca, determinando diferencias en la percepción sensorial a nivel inter-paneles de consumidores. Estas diferencias pueden deberse a cuestiones culturales, situaciones socio-demográficas, conocimiento de la materia prima, precio, cuestiones cognitivas y actitudinales en conjunto con términos de calidad, seguridad, salud y origen del producto, los cuales son factores que juegan un papel importante sobre la explicación de las diferencias en la percepción sensorial en los consumidores (Hirst *et al.*, 1994; Issanchou, 1996; Prescott, 1998; Resurrección, 2003; Verbeke, 2005; Van *et al.*, 2008; Gellynck *et al.*, 2009). Sin embargo, otros puntos importantes pueden ser la influencia de las cuestiones étnicas e ideales, donde el primero revela los contrastes y transiciones sobre la vida individual, así como los cambios, mientras que las cuestiones ideales incluyen valores simbólicos, por lo que este factor se vuelve un medio de orientación para la elección de los alimentos en diferentes grupos étnicos (Devine *et al.*, 1999).

**Cuadro 2.** ANOVA a dos factores con interacción (Producto x Municipio) para la evaluación del desempeño de los paneles no entrenados.

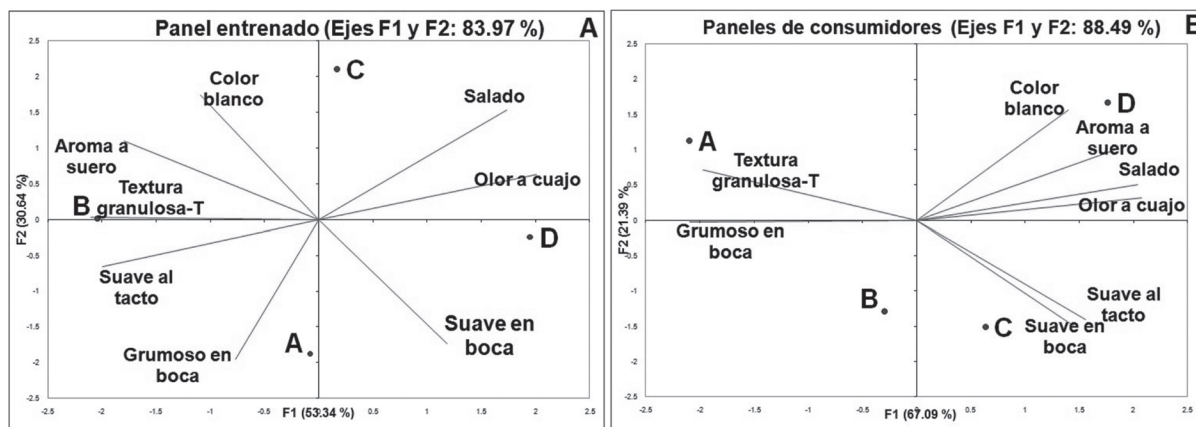
Atributo	Producto		Municipios		Interacción (Producto x Municipio)	
	F	p	F	p	F	p
Color blanco	27.14	0	2.6	0.05	11.82	0
Textura granulosa al tacto	3.8	0.1	0.29	0.82	5.62	0
Suave al tacto	2.86	0.035	2.21	0.085	1.37	0.195
Olor a cuajo	1.63	0.181	1.64	0.17	1.66	0.094
Salado	6.99	0.001	1.04	0.372	2.53	0.071
Grumoso en boca	3.73	0.011	2.68	0.045	3.48	0.003
Suave en boca	4.57	0.034	1.29	0.276	1.65	0.096
Aroma a suero	3.03	0.028	0.73	0.535	1.87	0.052

**Aspectos multidimensionales de ambos tipos de paneles.** Las diferencias encontradas en el factor producto del ANOVA a tres factores con interacción (Producto x Juez) para la evaluación del desempeño del panel entrenado se reflejan en el espacio sensorial del ACP (Figura 1A), donde los dos primeros ejes principales muestran que el 83.97% de este valor corresponden a la variación total de los datos, por lo que se pueden representar las muestras en un espacio bidimensional para conocer las diferencias de los productos con el panel entrenado; resultados similares fueron obtenidos por Hirts *et al.* (1994) y superior a los reportados por Gallerani *et al.* (2000) quienes obtuvieron el 82% y el 70%, respectivamente para la evaluación de quesos. Con respecto al posicionamiento de los quesos y atributos en el espacio sensorial, el panel entrenado agrupó los quesos A y B oponiéndolos al grupo formado por los quesos C y D, por lo tanto, el queso A se percibió con mayor intensidad en parámetros de textura, como suave y grumoso en boca, mientras que el queso B se percibió como textura granulosa al tacto, aroma a suero y color blanco, siendo éste último atributo igual que el queso C, mientras que los atributos sensoriales salado, olor a cuajo y suave en boca caracterizan el queso D.

Para el caso de los paneles de consumidores, el espacio sensorial del ACP (Figura 1B) reveló que en los dos primeros ejes principales se encuentran el 88.49% de la variación total de los datos. Este resultado es comparable al obtenido por el panel entrenado de la presente investigación. Sin embargo, trabajos como los de Faye *et al.* (2004) y Faye *et al.* (2006) han demostrado que la distancia entre productos percibidos por los consumidores es comparable a las distancias percibidas por evaluadores expertos. Los paneles de consumidores agruparon los quesos de la misma manera que el panel entrenado; sin embargo, el queso A se caracterizó por percibirse con textura granulosa al tacto, mientras que el queso B se percibió con mayor intensidad en grumoso en boca; los paneles de consumidores percibieron el queso C como suave en boca; el queso D se caracterizó por tener mayor color blanco, olor a cuajo, aroma a cuajo y salado.

Las diferencias percibidas en la intensidad de los atributos evaluados por ambos tipos de paneles (entrenado y consumidor) puede deberse a la elaboración de manera artesanal de este producto y, por ende, problemas como la composición de leche cruda en conjunto con la adición de cuajo, presión de homogenización y rango de enfriamiento pudieron afectar las

Figura 1. ACP de panel entrenado (A) y ACP de consumidores (B).



propiedades sensoriales (Morgan *et al.*, 2001; Brighenti *et al.*, 2008). Por otro lado, las posibles interacciones microbianas también son responsables del origen de nuevos compuestos aromáticos (Callon *et al.*, 2005). En este sentido, Gómez *et al.* (1996) mencionan que la flora microbiana del *Lactobacillus* ocasiona la aparición de atributos como aroma a mantequilla y especias, los cuales se correlacionan negativamente con los atributos del gusto, como ácido y amargo.

*Comparación de Mapas Externos de Preferencias por municipio con datos descriptivos del panel entrenado y del panel de consumidores.* Los resultados del ANOVA a dos factores (Producto y Consumidor) se muestran en el Cuadro 3, donde los consumidores de los cuatro municipios presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la preferencia por los quesos. Por tal motivo, el factor consumidor sólo fue significativo ( $p < 0.05$ ) en las localidades de Ixtaltepec y Santo Domingo. Según Husson *et al.* (2001), este resultado es clásico y revela que los consumidores anidados a algún municipio tienen diferentes ( $p < 0.05$ ) preferencias por los quesos. Dichos valores de probabilidad ( $p$ -consumidores) fueron significativos comparados a los reportados por Hersleth *et al.* (2005) para la evaluación de la preferencia de los consumidores de queso Noruegia ( $p = 0.07$ ).

**Cuadro 3.** ANOVA a dos factores (Producto, Consumidor) del estudio hedónico.

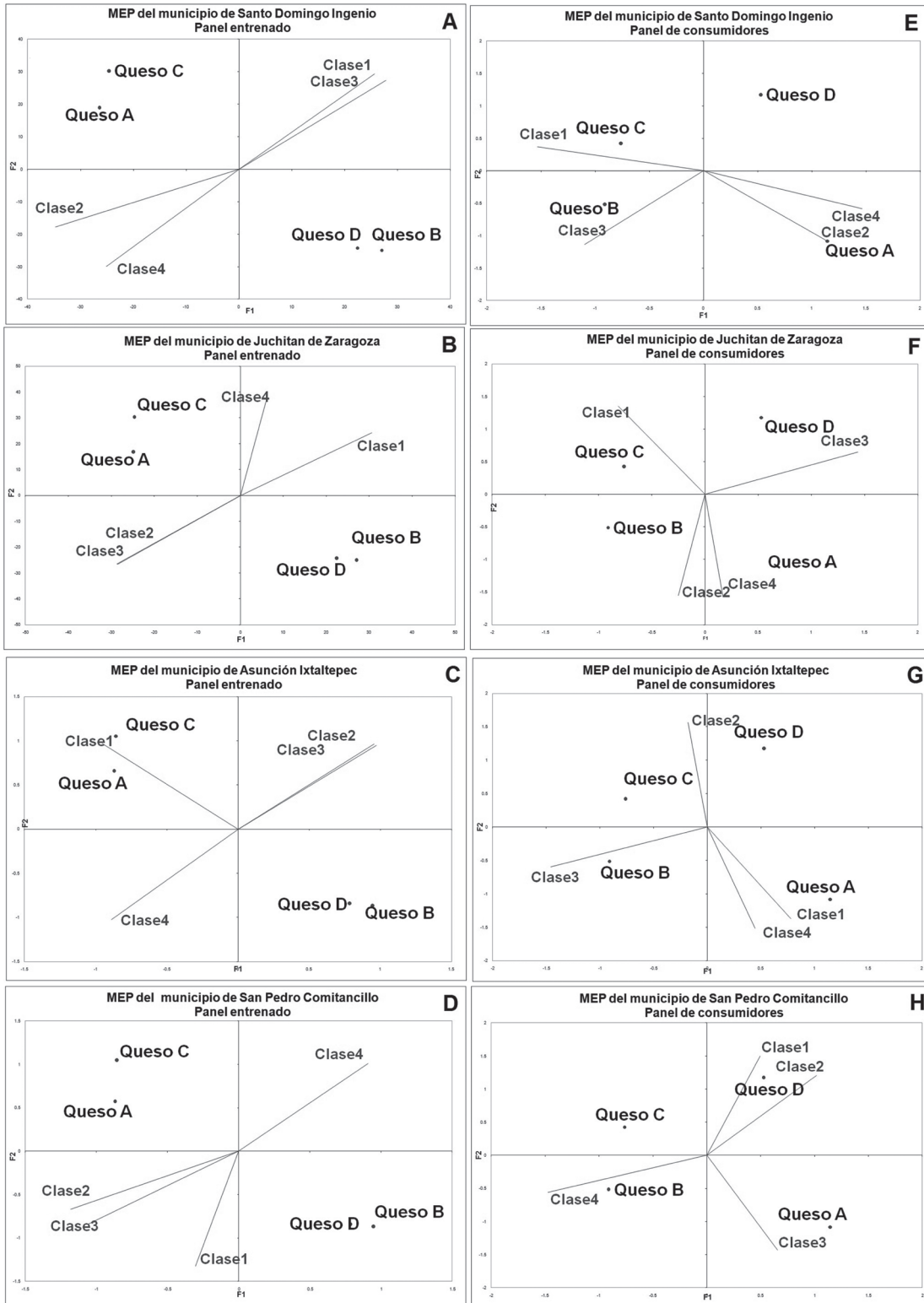
Localidad	F-Producto	p-Producto	F-Consumidores	p-Consumidores
San Pedro Comitancillo	5.52	0.001	1.02	0.429
Asunción Ixtaltepec	14.29	0	1.77	0.001
Juchitán de Zaragoza	2.89	0.035	1.18	0.151
Santo Domingo	5.04	0.002	1.37	0.024

En la Figura 2 se muestran los MEP con los datos del panel entrenado. Se encontró que en el municipio de Santo Domingo Ingenio (Figura 2A) los consumidores de la clase 1 y 3 ( $n = 22$  y  $n = 25$  respectivamente) prefirieron el queso C, mientras que los quesos menos preferidos fueron

el A y D por parte de los consumidores de la clase 2 ( $n = 24$  consumidores) y clase 4 ( $n = 29$  consumidores). Para el municipio de Juchitán de Zaragoza, en el MEP (Figura 2B) se observó que las clases 2 y 3 ( $n = 37$  y  $n = 6$  consumidores respectivamente) prefirieron el queso A, mientras que los consumidores que componen la clase 1 ( $n = 37$  consumidores) demostraron la preferencia por el queso B, y los consumidores de la clase 4 ( $n = 20$  consumidores) demostraron la preferencia por el queso C. En el municipio de Asunción Ixtaltepec (Figura 2C) los consumidores de las clases 1, 2 y 3 ( $n = 26$ ,  $n = 47$  y  $n = 18$  respectivamente) tuvieron la preferencia por el queso C, mientras que la minoría de consumidores (clase 4,  $n = 9$  consumidores) prefirió el queso D. En el municipio de San Pedro Comitancillo (Figura 2D) 38 consumidores tuvieron la preferencia por el queso C (clase 4), mientras que los quesos A y D fueron preferidos por 34 consumidores (clases 2 y 3) y 28 consumidores (clase 1), respectivamente. Los MEP con los datos del panel de consumidores (Figura 2) demostraron que en el municipio de Santo Domingo (Figura 2E), la clase 1 ( $n = 22$  consumidores) prefirió el queso C, las clases 2 y 4 ( $n = 25$  y  $n = 29$  consumidores respectivamente) prefirieron el queso A, la clase 3 ( $n = 25$  consumidores) prefirió el queso B. Para el municipio de Juchitán de Zaragoza (Figura 2F), la clase 1 ( $n = 37$  consumidores) prefirió el queso C, mientras que las clases 2 y 4 ( $n = 37$  y  $n = 20$  consumidores respectivamente, para un total de 57 consumidores) prefirieron el queso A. Para el municipio de Asunción Ixtaltepec (Figura 2G), la clase 1 y 4 ( $n = 26$  y  $n = 9$  consumidores respectivamente) prefirieron el queso A, mientras que los consumidores de la clase 2 ( $n = 47$ ) prefirieron el queso D; la clase 3 ( $n = 18$  consumidores) prefirió el queso B. El MEP del municipio de San Pedro Comitancillo (Figura 2H) reveló que las clases 1 y 2 ( $n = 28$  y  $n = 27$  consumidores respectivamente) prefirieron el queso D, la clase 3 ( $n = 7$ ) prefirió el queso A y por último, la clase 4 ( $n = 38$  consumidores) prefirió el queso B.



**Figura 2.** MEP del panel entrenado y MEP de consumidores para los cuatro municipios productores del queso fresco cuajada.



Los resultados del  $R^2$  para la determinación del mejor ajuste de la conexión entre los datos descriptivos y hedónicos explican la preferencia usando los datos del panel entrenado y del panel de consumidores (Cuadro 4). Para el municipio de Santo Domingo, el mejor ajuste se ubicó en las clases 1, 2 y 4 ( $R^2 = 0.984$ ,  $R^2 = 1$ ,  $R^2 = 0.955$ ) con los datos del panel entrenado, mientras que con los datos del panel consumidor sólo pudo explicarse la preferencia de la clase 3 al obtener un valor de  $R^2$  de 0.981. Para el municipio de Juchitán de Zaragoza, con los datos del panel entrenado se logró explicar claramente la preferencia en las clases 1 y 4 ( $R^2 = 0.845$  y  $R^2 = 1.000$ ), mientras que con los datos del panel consumidor se obtuvieron valores de  $R^2 = 0.967$  y  $R^2 = 0.934$ , lográndose explicar la preferencia de las clases 1, 2 y 3. En el municipio de Asunción Ixtaltepec el mejor

0.824). Algunos de los valores de  $R^2$  reportados en la presente investigación fueron superiores a los obtenidos por McEwan y Thomson (1989) ( $R^2 = 0.64$ ); Bárcenas *et al.* (2000) ( $R^2 = 0.57$ ); Guinard *et al.* (2001) ( $R^2 = 0.351$ ) y Gámbaro *et al.* (2007) ( $R^2 = 0.79$ ), quienes aplicaron MEP modelo vectorial para el análisis de las preferencias en productos de chocolate, nuggets de pollo, cervezas y mieles.

## Conclusiones

El desempeño del panel entrenado fue discriminante en todos los atributos sensoriales, a diferencia del panel consumidor, que sólo fue discriminante en los atributos color blanco, suave a tacto, salado, grumoso en boca, suave en boca y aroma a suero; sin embargo, los resultados del ACP revelaron similitudes entre ambos tipos de paneles para el posicionamiento de los quesos y atributos en el espacio sensorial.

**Cuadro 4.** Comparación de valores de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) del modelo vectorial del MEP por municipio.

Clase	Santo Domingo Ingenio		Juchitán de Zaragoza		Asunción Ixtaltepec		San Pedro Comitancillo	
	$R^2$ (entrenado)	$R^2$ (consumidor)	$R^2$ (entrenado)	$R^2$ (consumidor)	$R^2$ (entrenado)	$R^2$ (consumidor)	$R^2$ (entrenado)	$R^2$ (consumidor)
Clase1	*0.984	0.358	*0.845	*0.792	*0.999	0.101	0.675	0.551
Clase2	*1.000	0.291	0.088	*0.967	0.285	*0.942	0.204	0.678
Clase3	0.138	*0.981	0.506	*0.934	0.613	*0.994	*0.769	*0.824
Clase4	*0.955	0.23	*1.000	0.067	0.589	0.435	*0.850	0.682

\*  $p < 0.05$


ajuste de los datos hedónicos-descriptivos con los datos del panel entrenado fue para la clase 1 ( $R^2 = 0.999$ ), mientras que con los datos del panel consumidor fueron para las clases 2 y 3 ( $R^2 = 0.942$  y  $R^2 = 0.994$  respectivamente). En el municipio de San Pedro Comitancillo sólo para las clases 3 y 4 ( $R^2 = 0.769$  y  $R^2 = 0.850$ ) se pudo explicar la preferencia con los datos del panel entrenado, mientras que con los datos del panel de consumidores sólo logró explicarse la preferencia de la clase 3 ( $R^2 =$

Los consumidores del municipio de Asunción Ixtaltepec y de San Pedro Comitancillo prefieren el queso que se elabora en su municipio, a diferencia de los consumidores del municipio de Santo Domingo Ingenio, quienes prefirieron los quesos que se elaboran en Asunción Ixtaltepec; los consumidores del municipio de Juchitán de Zaragoza prefirieron los quesos que se elaboran en Santo Domingo Ingenio y Asunción Ixtaltepec.

Los resultados del MEP generados a través de los datos del panel entrenado y los paneles no entrenados fueron complementarios, ya que en algunos casos la explicación de la preferencia de alguna clase no pudo ser determinada en su totalidad con los datos del panel entrenado. Por tal motivo, el vocabulario que se genere a través de un panel entrenado también puede ser evaluado mediante paneles de consumidores, lo cual puede ser una alternativa rápida para la generación del MEP, previo a la construcción del MEP con los datos del panel entrenado, ya que son de fácil elaboración; sin embargo, es importante hacer mención que los resultados de este tipo de estudios pueden estar, en primera instancia, en función del número de consumidores usados para la evaluación de los atributos sensoriales, ya que a mayor número de los mismos, el error tiende a minimizarse; y en segunda instancia, en la facilidad que tengan los consumidores para poder comprender y detectar los atributos sensoriales para dar su juicio.

## Literatura citada

- AFNOR ISO 11035. 1995. Analyse Sensorielle. Recherche et sélection de descripteurs pour l'élaboration d'un profil sensoriel par approche multidimensionnelle.
- BÁRCENAS, P., J. Pérez y M. Albisu. 2000. Selection and screening of a descriptive panel for ewes milk chesses sensory profiling. *Journal of Sensory Studies* 15:79-99.
- BÁRCENAS, P., J. Pérez y M. Albisu. 2004. Projective mapping in sensory analysis of ewes milk cheeses: a study on consumers and trained panel performance. *Food Research International* 37(7):723-729.
- BRIGHENTI, M., S. Govindasamy, K. Lim, K. Nelson y A. Lucey. 2008. Characterization of the Rheological, Textural, and Sensory Properties of Samples of Commercial US Cream Cheese with Different Fat Contents. *Journal of Dairy Science* 91:4501-4517.
- CALLON, C., L. Berdague, E. Dufour y M. Montel. 2005. The effect of raw milk microbial flora on the sensory characteristics of salers- type cheese. *Journal Dairy Science* 88:3840-3850.
- CHOLLET, S y Valentin, D. 2001. Impact of training on beer flavor perception and description: are trained and untrained subjects really different?. *Journal of Sensory Studies* 16(6):601-618.
- DAIROU, V y Sieffermann J.M. 2002. A comparison of 14 jams characterized by conventional profile and a quick original method, the flash profile. *Journal of Food Science* 67(2):826-834.
- DEVINE, C., J. Sobal y C. Bisogni. 1999. Connors, M. Food choice in three ethnic groups: Interactions of ideals, identities and roles. *Journal of Nutrition Education* 31(2):86-93.
- DRAKE, S., K. Lopetcharat, S. Clark, H. Kwak, S. Lee y M. Drake. 2009a. Mapping differences in consumer's perception of sharp cheddar cheese in the United State. *Sensory and Food Quality* 74(6): S276-S285.
- DRAKE, L., K. Lopetcharat y M.A. Drake. 2009b. Comparison of two methods to explore consumer preferences for cottage cheese. *Journal of Dairy Science* 92(12):5883-5897.
- FAYE, P., D. Bremaud, P. Duran, A. Courcoux, H. Giboreau y H. Nicod. 2004. Perceptive free sorting with naïve subjects: an alternative to descriptive mappings and tool for sensory segmentations of consumer. *Food Quality and Preference* 15: 781-792.
- FAYE, P., D. Brémaud, E. Teillet, P. Courcoux, A. Giboreau y H. Nicod. 2006. An alternative to external preference mapping based on consumer perceptive mapping. *Food Quality and Preference* 17(78):604-614
- GALLERANI, G., F. Gasperi y A. Monetti. 2000. Judge selection for hard and semi-hard cheese sensory evaluation. *Food Quality and Preference* 11:465-474.
- GÁMBARO, A., G. Ares, A. Giménez y S. Pahor. 2007. Preference mapping of color of uruguayan honeys. *Journal Sensory Studies* 22: 507-519.
- GELLYNCK, X., B. Kuhne, F. Van, D. Van y K. Dewettinck. 2009. Consumer perception of bread quality. *Food Quality and Preference* 53(1):16-23.
- GÓMEZ, J., M. Gaya, M. Núñez y M. Median. 1996. Effect of *Lactobacillus plantarum* as adjunct starter on the flavor and texture of a semi hard cheese made from pasteurised cow's milk. *Journal Lait* 76:461-472.
- GÓMEZ, T., M. Hernández, J. López, C. Santiago, L. Ramón, J. Juárez y E. Ramírez. 2010. Caracterización sensorial del queso fresco «cuajada» en tres localidades de Oaxaca, México: diferencias en la percepción sensorial. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1(2):127-140.
- GUERRERO, L., A. Romero, P. Gou, N. Aleta y J. Arnau. 2000. Sensory profiles of different walnut (*Junglas regia* L.). *Food Science and Technology International* 6:207-216.
- GUÁRDIA, M.D., P.S. Aguiar, A. Claret, J. Arnau y L. Guerrero. 2010. Sensory characterization of dry-cured ham using free-choice profiling. *Food Quality and Preference* 21:148-155.
- GUINARD, J., B. Uotani y P. Schlich. 2001. Internal and external mapping of preferences for commercial lager beers: Comparison of hedonic ratings by consumers blind versus with knowledge of brand and price. *Food Quality and Preference* 12:243-255.
- HERSLETH, M., R. Berggren, F. Westad y M. Martens. 2005. Perception of bread: A comparison of consumers and trained assessors. *Journal Sensory and Nutritive Qualities of Food* 70(2):S95-S101.
- HIRST, D., D. Muir y T. Naes. 1994. Definition of the sensory of hard cheese: a collaborative study between Scottish and Norwegian panels. *International Dairy Journal* 4(8):743-761.
- HUSSON, F., S. Lê-dien y J. Pagès. 2001. Which value can be granted to sensory profiles given by consumers? Methodology and results. *Food Quality and Preference* 12(5-7):291-296.
- HUSSON, F. and J. Pagès J. 2003. Comparison of sensory profiles done by trained and untrained juries: Methodology and Results. *Journal of Sensory Studies* 18: 453-464.
- ISSANCHOU, S. 1996. Consumer expectations and perception of meat and meat product quality. *Meat Science* 43(1):5-19.
- LELIEVRE, M., S. Chollet, H. Abdi y D. Valentin. 2008. What is validity of the sorting task for describing beers? A study using trained and untrained assessors. *Food Quality and Preference* 19:697-703.

- MARTIN, N., P. Molimard, H. Spinnler y P. Schlich. 2000. Comparison of odor sensory profiles performed by two independent trained panels following the same descriptive analysis procedures. *Food Quality and Preference* 11:487-495.
- MAZZUCHELLI, R. Y J. Guinard. 1999. Comparison of monadic and simultaneous sample presentation modes in descriptive analysis of milk chocolate. *Journal of Sensory Studies* 14(2):235-248.
- MC EWAN, J. y D. Thomson. 1989. The repertory grid method and preference mapping in market research: a case study on chocolate confectionery. *Food Quality and Preference* 2:59-68.
- MORGAN, F., J. Pierre y P. Gaborit. 2001. Lien entre niveau de lypolise de lait de chèvre et la qualité sensorielle des fromages au lait cru ou pasteurisé. *Revue Lait* 81:743-756.
- NOGUEIRA, H., C. Tinet, C. Curt, G. Trystram y J. Hossenlopp. 2006. Using the internet for descriptive sensory analysis: formation, training and follow-up of a taste panel over the web. *Journal Sensory Studies* 21:180-202.
- NGAPO, T., J. Martin y E. Dransfield. 2004. Consumer choice of pork chops: results from three panels in France. *Food Quality and Preference* 15:349-359.
- PAGÈS, J. y F. Husson. 2001. Inter-laboratory comparison of sensory profiles: methodology and results. *Food Quality and Preference* 12:297-309.
- PAGÈS, J., C. Bertrand, R. Ali, F. Husson y S. LE. 2007. Sensory analysis comparison of eight biscuits by French and Pakistani panels. *Journal of Sensory Studies* 22:665-686.
- PERRIN, L., Symonneaux, R., Maître, I., Asselin, C., Jourjon, F y Pagès J. 2008. Comparison of three sensory methods for use with the Napping procedure: Case of ten wines from Loire valley. *Journal Food Quality and Preference* 19: 1-11.
- PRESCOTT, J. 1998. Comparison of taste perceptions and preferences of Japanese and Australian consumers: overview and implications for cross-cultural sensory research. *Food Quality and Preference* 9(6):393-402.
- RAMÍREZ, E. J., L. G. Ramón, M. Camacho, V. Reyes, M. Rodríguez y J. Shaín. 2010. Correlación entre el perfil descriptivo cuantitativo y perfil flash de hamburguesas de pescado de barrilete negro (*Euthynnus lineatus*). *Revista Nacameh* 4(2):56-68.
- RESURRECCIÓN, A. 2003. Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. *Meat Science* 66:11-20.
- SAHMER, K., E. Vigneau y E. Gannari. 2006. A cluster to analyze preference data: Choice of the number of clusters. *Food Quality and Preference* 17:257-265.
- SCHMIDT, T., M. Schilling, J. Behrends, V. Battula, V. Jackson, R. Sekhon, R. y T. Lawrence. 2010. Use of cluster analysis and preference mapping to evaluate consumer acceptability of choice and select bovine *M. longissimus Lumborum* steaks cooked to various end-point temperatures. *Meat Science* 84:46-53.
- SCHILCH, P y J. Mcewan. 1992. Cartographie des préférences: Un outil statistique pour l'industrie agro-alimentaire. *Sciences des Aliments* 12:339-355.
- SEMENOU, M., P. Courcoux, M. Cardinal, H. Nicod y A. Ouisse, A. 2007. Preference study using a latent class approach. Analysis of European preference for smoked salmon. *Food Quality and Preference* 18:720-728.
- STATGRAPHICS® Plus, versión 5.1 (Statistical Graphics Corporation, Warrenton, VA, USA)
- STONE, H., J. Sidel, S. Oliver, S. Woolsey y R.C. Singleton. 1974. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Food Technology* 28:24-34.
- THOMPSON, J., M. Drake, K. Lopetcharat y M. Yates. 2004. Preference mapping of commercial Chocolate Milks. *Food Quality and Preference* 69(9):406-413.
- VAN, D., M. Drake, F. Molina, M. Guerrero y A. Gardea. 2006. Mexican Chihuahua cheese: sensory profiles of young cheese. *Journal Dairy Science* 89:3729-3738.
- VAN, R., F. Wendy, J. Lynn, D. Menozzi, y G. Faioli, G. 2008. Consumer perception of traceability: a cross-national comparison of the associated benefits. *Food Quality and Preference* 19(5):452-464.
- VERBEKE, WIM. 2005. Consumer acceptance of functional foods: socio-demographic, cognitive and attitudinal determinants. *Food Quality and Preference* 16(1):45-57.
- WORCH, T., S. Lê, y P. Punter. 2010. How reliable are consumers? Comparison of sensory profiles from consumers and experts. *Food Quality and Preference* 21(3):309-318.
- XLSTAT® para microsoft excel® 2009. Fahmy, T. París Francia.
- YOUNG, N., M. Drake, K. Lopetcharat y R. Mcdaniel. 2004. Preference mapping of Cheddar Cheese with Varying Maturity Levels. *Journal Dairy Science* 87:11-19. 

Este artículo es citado así:

López-Velázquez, J., T. Gómez-Alvarado, M. Hernández-Cervantes, R. Santiago-Cabrera, L. G. Ramón-Canul, J. M. Juárez-Barrientos, F. K. Delgado-Vidal y E. J. Ramírez-Rivera. 2012: *Mapas externos de preferencias de jueces entrenados y consumidores: comparación del desempeño y determinación de la preferencia*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 6(1): 9-21.



## Resúmenes curriculares de autor y coautores

**JULIANA LÓPEZ VELÁZQUEZ.** Terminó su licenciatura en el 2011, obtuvo el título de Ingeniera en Industrias Alimentarias con la especialidad en tecnología en lácteos con mención honorífica por el Instituto Tecnológico de Comitancillo, Oaxaca. Realizó la tesis en productos lácteos típicos de la región del Istmo de Tehuantepec, es autora y coautora de artículos científicos en evaluación sensorial de alimentos aplicados a productos lácteos.

**TANIA GÓMEZ ALVARADO.** Terminó su licenciatura en el 2011, obtuvo el título de Ingeniera en Industrias Alimentarias con la especialidad en tecnología en lácteos con mención honorífica por el Instituto Tecnológico de Comitancillo, Oaxaca. Realizó la tesis en productos lácteos típicos de la región del Istmo de Tehuantepec, es autora y coautora de artículos científicos en evaluación sensorial de alimentos aplicados a productos lácteos.

**MARÍA HERNÁNDEZ CERVANTES.** Terminó su licenciatura en el 2011, obtuvo el título de Ingeniera en Industrias Alimentarias con la especialidad en tecnología en lácteos con mención honorífica por el Instituto Tecnológico de Comitancillo, Oaxaca. Realizó la tesis en productos lácteos típicos de la región del Istmo de Tehuantepec, es autora y coautora de artículos científicos en evaluación sensorial de alimentos aplicados a productos lácteos.

**RODRIGO SANTIAGO CABRERA.** Terminó su licenciatura en 1982 en la Universidad Autónoma Agraria «Antonio Narro», en la Ciudad de Buenavista, Saltillo, Coahuila; en 1987 obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo en la especialidad de Suelos. Realizó una especialización en suelos y nutrición de plantas en el Centro Internacional de Agricultura Tropical en Cali, Colombia en el año de 1990. Es pasante de Maestro en Ciencias en Alimentos en 2008. Desde 1988 hasta 1999 laboró en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, y de 2001 hasta la fecha trabaja como docente en el Instituto Tecnológico de Comitancillo. Ha dirigido tesis de licenciatura y Residencias Profesionales. Es autor de 4 artículos científicos, tiene más de 5 ponencias en congresos, además ha impartido conferencias por invitación y ha dirigido proyectos de investigación financiados por fuentes internas y externas.

**LORENA GUADALUPE RAMÓN CANUL.** Egresada de la carrera de Ingeniería Bioquímica con especialidad en Biotecnología (2005) del Instituto Tecnológico de Mérida, México. Realizó su posgrado en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias Alimentarias (2011). Actualmente es profesora-investigadora de la Universidad de la Sierra Sur, Oaxaca, México, donde imparte cátedra de Bioquímica Nutricional y Microbiología e Higiene de los Alimentos. Es coordinadora del cuerpo académico de Biotecnología Alimentaria y Nutrición Genética. Es autora y co-autora de 10 artículos científicos dentro de las disciplinas de nutrición humana y evaluación sensorial. Ha participado en diversos congresos nacionales e internacionales de los cuales obtuvo el segundo lugar en el «4th International Congress on Food Science and Food Biotechnology in Developing Countries» en el área de evaluación sensorial en el 2010 y el primer lugar en el «26° Congreso nacional de la AMMFEN» en el 2011. Actualmente está desarrollando un proyecto de aplicación de diversas técnicas sensoriales descriptivas en chocolates regionales del estado de Oaxaca, México.

**JOSÉ MANUEL JUÁREZ BARRIENTOS.** En 2003 se graduó como Ingeniero bioquímico con especialidad en Alimentos por el Instituto Tecnológico de Tuxtepec (ITT), institución donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Alimentos con la especialidad de reología de alimentos en el 2008. Realizó una estancia de Investigación financiada por una Beca mixta del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) en l'Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles (ENITA) de la ciudad de Clermont Ferrand, Francia, y colaboró en el proyecto denominado «*Analyses sensorielle et instrumentale de fromages à pâte pressée non cuite (Saint-Nectaire)*». Del 2010 al 2011, laboró en la Universidad del Mar (UMAR) campus Puerto Ángel desempeñándose como profesor investigador de tiempo completo Asociado B dentro de la carrera de Ingeniería en Acuicultura. Es autor y coautor de 7 artículos científicos y 3 capítulos de libros dentro de las áreas de reología y evaluación sensorial. Actualmente es estudiante del programa doctoral en Agroecosistemas Tropicales en el Colegio de Postgraduados (COLPOS) campus Veracruz, y su tesis versa sobre la Tipicidad alimentaria y Cadena Agroindustrial, además participa como colaborador del cuerpo académico de investigación en Quesos Genuinos Mexicanos de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

**FÁTIMA KARINA DELGADO VIDAL.** Es química egresada de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (1999). Se graduó como Maestra en Ciencias en Tecnología de Alimentos con mención honorífica en la Universidad Autónoma de Chihuahua (2002). Desarrolló su tesis de licenciatura en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, formando parte del equipo de investigación en el proyecto «Desarrollo de bioprocesos para la conservación, detoxificación y valorización de la pulpa de café», financiado por Comunidad Económica Europea. Actualmente se desempeña como profesora-investigadora de tiempo completo en la Universidad del Mar Campus Puerto Ángel, Oaxaca, donde imparte clases de química, bioquímica de alimentos y tecnología de alimentos en recursos pesqueros y acuícolas, está adscrita a la carrera de Ingeniería en Acuicultura, actualmente está dirigiendo investigaciones en dos vertientes del área de alimentos: en el desarrollo de dietas para organismos acuáticos y en el desarrollo de nuevos productos para consumo humano. Ha otorgado capacitación a los productores de cultivos acuícolas y a los productores de chocolate en la costa del estado de Oaxaca, ha dirigido proyectos de investigación con financiamiento externo por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) en colaboración con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA); y proyectos internos financiados por la Universidad del Mar (UMAR) dentro de los que destacan los proyectos de «Evaluación de una dieta a base de harina de plátano roatán para cultivo de tilapia *Oreochromis niloticus*»; «Evaluación de la calidad de harinas de pescado elaboradas artesanalmente con subproductos del procesamiento de pescado fresco», derivado de sus investigaciones ha publicado el «*Manual de cultivo y alimentación de tilapia en la zona rural*» así mismo, es coautora de artículos científicos en el ámbito de evaluación sensorial.

**EMMANUEL DE JESÚS RAMÍREZ RIVERA.** Terminó su licenciatura en el 2006, año en el cual obtuvo el grado de ingeniero bioquímico con la especialidad de biotecnología por el Instituto Tecnológico de Mérida, Yucatán (ITM). Realizó estudios de posgrado donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Alimentos en el área de evaluación sensorial en el 2009 por el Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Oaxaca (ITT), ha realizado estancias de investigación a nivel nacional en el Colegio de Postgraduados Campus Tabasco y a nivel internacional en la Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles (ENITA) en Clermont Ferrand, Francia. Desde el 2009 labora en la Universidad del Mar Campus Puerto Ángel del estado de Oaxaca, cuenta con el reconocimiento de perfil deseable PROMEP desde el 2011 hasta la fecha. Es autor de 15 artículos científicos dentro del área sensorimétrica; además ha impartido conferencias por invitación, ha tomado cursos internacionales de evaluación sensorial, cuenta 20 participaciones en congresos nacionales e internacionales de los cuales obtuvo el segundo lugar en el «4th International Congress on Food Science and Food Biotechnology in Developing Countries» en el área de evaluación sensorial en el 2010 y el primer lugar en el «26° Congreso nacional de la AMMFEN» en el 2011; es miembro del cuerpo arbitral externo de la revista ciencia y mar así como de la Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

# Identification of novel point mutations in c-kit gene from Leukemia cases: a study from Lucknow, Uttar Pradesh, India

## Identificación de nuevas mutaciones puntuales en el gen c-kit en casos de Leucemia: un estudio realizado en Lucknow, Uttar Pradesh, India

SYED RIZWAN HUSSAIN<sup>1</sup>, AMNA SIDDIQUI<sup>3</sup>, JAVIER VARGAS-MEDRANO<sup>2</sup>, HENA NAQVI<sup>1</sup>,  
JONATHAN MOHL<sup>2</sup>, FARZANA MAHDI<sup>1</sup> AND FAHIM AHMAD<sup>2,4</sup>

Recibido: Octubre 17, 2011

Aceptado: Enero 18, 2012

### Abstract

The c-kit gene is a receptor tyrosine kinase (RTK) class III that is expressed in early hematopoietic progenitor cells. Aberrantly activated RTK and related downstream signaling partners have been reported as key elements in the molecular pathogenesis of several malignancies. Within the c-kit gene exon-11 is the most frequent site for mutations in different kinds of tumours. Mutations in c-kit gene may enhance or interfere with the ability of c-kit receptor to initiate the intracellular pathways resulting in cell proliferation. Therefore, we aimed to screen the mutations in c-kit gene at exon-8 and -11 in malignant Leukemias. Ninety Leukemia cases were studied and analyzed by mutation-specific PCR-SSCP followed by DNA sequencing. Twenty point mutations were detected in eight AML (acute myeloid Leukemia) cases within exon-11 which includes *Tyr568Ser*, *Ile571Thr*, *Thr574Pro*, *Gln575His*, *Tyr578Pro*, *Asp579His*, *His580Gln*, *Arg586Thr*, *Asn587Asp* and *Arg588Met*. The substitutions *Lys550Asn*, *Ile571Leu* and *Trp582Ser* were observed in two independent cases and four novel point mutations at codons *Ile563Lys*, *Val569Leu*, *Tyr570Ser*, and *Pro577Ser*. Further, six point mutations were detected at exon-8 in six cases (four AML and two CML cases), comprising three novel mutations *Asn423Asp*, *Gln448Thr*, and *Gln448His*. The point mutations *Thr417Asp*, *Tyr418Phe*, and *Leu421His* were observed, but were detected only in three cases. These observations suggest that mutations in c-kit gene might represent a useful molecular genetic marker in Leukemia and incidence of mutation at exon-8 and -11 is high and might be involve in pathogenesis of AML.

**Palabras clave:** c-kit, exon-8 and -11, Leukemia, mutation, SSCP-PAGE.

### Resumen

El gen c-kit, que codifica para un receptor tirosina quinasa (RTK) de clase III, se expresa en las primeras células progenitoras hematopoyéticas. La activación de este RTK y su vía de señalización se encuentran involucradas en la patogénesis molecular de varias enfermedades. La mutación del gen c-kit en el exón 11 es una de las mutaciones más frecuentemente reportadas en diferente tipos de tumores. Mutaciones en c-kit podrían incrementar o interferir con la habilidad del receptor c-kit para iniciar la activación de cascadas de señalización intracelulares responsables en la proliferación celular. Por estas razones, estudiamos las mutaciones del gen c-kit en el exon 8 y 11 en casos con Leucemias. Noventa casos de Leucemia en la India fueron estudiados mediante PCR SSCP, seguida por secuenciación de DNA. Veinte mutaciones puntuales fueron detectadas en el exon 11 en tan solo ocho de los casos con AML (leucemia mieloide aguda), entre las que encontraron las mutaciones *Tyr568Ser*, *Ile571Thr*, *Thr574Pro*, *Gln575His*, *Tyr578Pro*, *Asp579His*, *His580Gln*, *Arg586Thr*, *Asn587Asp* y *Arg588Met*. Las sustituciones *Lys550Asn*, *Ile571Leu* y *Trp582Ser* fueron observadas en tan solo dos casos. Además, cuatro nuevas mutaciones para los codones *Ile563Lys*, *Val569Leu*, *Tyr570Ser*, y *Pro577Ser* se observaron en este estudio. En el exon 8, seis mutaciones puntuales fueron observadas y en seis de los casos (cuatro en AML y dos en CML) encontramos tres nuevas mutaciones *Asn423Asp*, *Gln448Thr* y *Gln448His*. Sin embargo, las mutaciones puntuales *Thr417Asp*, *Tyr418Phe* y *Leu421His* fueron observadas en varias ocasiones, pero en tan solo tres de los casos estudiados. Estas observaciones sugieren que las mutaciones en c-kit podrían representar un marcador genético para Leucemia. La incidencia en la mutación del exon 8 y 11 es elevada y podría estar relacionada con la patogénesis de la AML.

**Palabras clave:** c-kit, exones 8 y 11, Leucemia, mutación, SSCP PAGE.

<sup>1</sup> Department of Biochemistry, Era's Lucknow Medical College and Hospital, Lucknow, India.

<sup>2</sup> Center of Excellence for Infectious Diseases, Biomedical Sciences Department, Texas Tech University Health Science Center and Paul L. Foster School of Medicine, El Paso, TX, U.S.A. 79905

<sup>3</sup> Department of Anesthesiology, Texas Tech University, El Paso, TX, U.S.A.

<sup>4</sup> Author for correspondence: fahim.ahmad@ttuhsc.edu.

## Introduction

**L**eukemia is classified based on the presence of specific cytogenetic abnormalities as well as the French-American-British (FAB) classification of the leukemic cells (Rowley, 1973). A mutation on c-kit gene, a member of the receptor tyrosine kinase (RTK) family type III, is the most frequently occurring genetic aberration in acute myeloid leukemia (AML). A number of observations also suggest a role for c-kit that is important for the development of a range of cells including hematopoietic cells in leukaemogenesis (Reilly, 2002).

High expression of c-kit in AML (60%-80% higher than control) has been reported (Reuss-Borst *et al.*, 1994; Cole *et al.*, 1996) and point mutations in c-kit gene have been identified in 33.4-45.0% of AML cases (Higuchi *et al.*, 2002). However, many of these studies looked for mutations in c-kit gene only at coding sequence region. It is known that c-kit is a Leukemia proto-oncogene and activating c-kit mutations are likely to contribute in the development of Leukemia in humans (Smith *et al.*, 2004; Piloto *et al.*, 2006; Gao *et al.*, 2011; Marcucci *et al.*, 2011). The activation sphere of the receptor has resulted in the constitutive c-kit kinase activity and c-kit receptors harboring such mutations when introduced into mammalian cells downstream signaling pathways lead to factor-independent growth *in vitro* and leukemogenesis *in vivo* (Ihle *et al.*, 1995; Gao *et al.*, 2011). The c-kit gene is a member of the class III tyrosine kinase receptor family that includes the platelet-derived growth factor receptors (PDGFRs) (Ullrich *et al.*, 1990; Matthews *et al.*, 1991; Martín-Broto *et al.*, 2010). Class III receptor tyrosine kinases (RTKs) share sequence homology and have an overall similar structure with five immunoglobulin-like repeats in the extracellular domain, a single transmembrane domain (TM), a juxtamembrane domain (JM), two intracellular tyrosine kinase domains (TK1 and TK2) divided by a kinase insert domain (KI), and a C-terminal domain (Yarden and Ullrich, 1988). The genomic locus encoding the c-kit gene receptor has 21 exons, ranging 100-300 base pairs (bp) (Abu-Duhier *et al.*, 2001). The c-kit gene mutations in exon-11 are reported in gastrointestinal stromal tumors, human solid tumors and human germ cell tumors (Qingsheng *et al.*, 1999; Hou *et al.*, 2004;

Harri *et al.*, 2005). Until now, no study has reported the frequency and prevalence of mutations in exon-8 and -11 of c-kit gene in Leukemia patients from northern India. In this study we have screened the mutation status of exon-8 and -11 of c-kit gene in malignant Leukemias (Acute Myeloid Leukemia, Acute Lymphoblastic Leukemia, Chronic Myeloid Leukemia and Chronic Lymphocytic Leukemia) and further explored whether the c-kit gene mutations were valuable as malignant markers in Leukemia.

## Material and Methods

**Subjects.** The study group included 90 cases of Leukemia, from the Department of Pathology at Era's Lucknow Medical College and Hospital, and from other hospitals and pathologies situated in and around the city of Lucknow, Uttar Pradesh, in northern India. Ethical approval was obtained from the Institutional Ethical Committee of Era's Lucknow Medical and Hospital, Lucknow, Uttar Pradesh, India. In addition, clinical data was also recorded. The blood or bone marrow samples were stained by Leishman stain method and the cases were classified, according to the FAB criteria (Bennett *et al.*, 1976). From the 90 Leukemia patients, 60 (66.7%) samples were with Acute Myeloid Leukemia (AML), 10 (11.1%) samples with Acute Lymphoblastic Leukemia (ALL), 10 (11.1%) samples with Chronic Myeloid Leukemia (CML) and 10 (11.1%) samples with Chronic Lymphocytic Leukemia (CLL). The demographic profile of patients can be finding at supplementary table 1, as well as for controls (supplementary table 2).

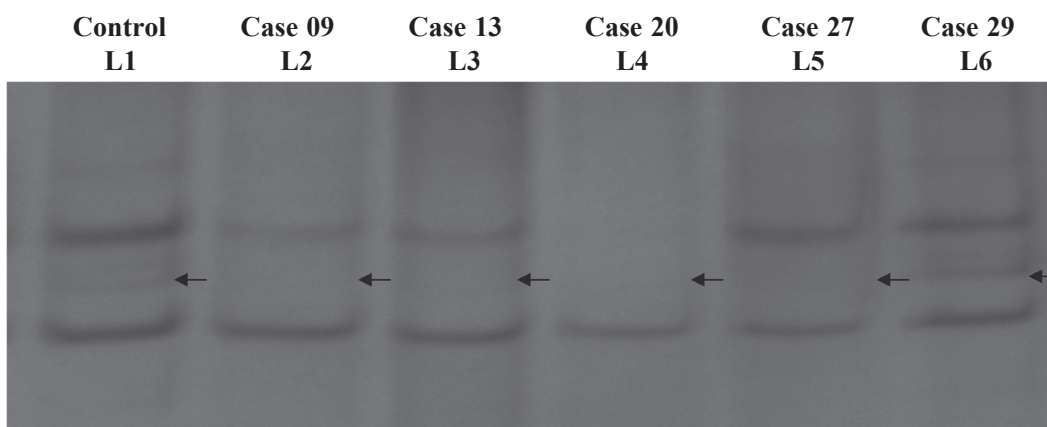
**Sample collection and DNA extraction.** Specimen was collected from 90 routinely-processed unstained bone marrow slides and blood diagnosed as Leukemia. Patients were from the Department of Pathology at Era's Lucknow Medical College and Hospital, and from other hospitals and pathologies situated in and around the city of Lucknow, Uttar Pradesh, India. Finally, samples were stored at -20°C. Genomic DNA was extracted according to Moskaluk *et al.* (1997) with little modifications.

**Polymerase Chain Reaction and Single-Strand Conformational Polymorphism (PCR SSCP).** Polymerase Chain Reaction (PCR) was performed in a 25 µl of 1X PCR reaction containing 200 ng of template DNA, 10 pmol of each primer (forward and reverse primers), 10 mmol/L of dNTPs and 0.3 units of Taq DNA polymerase (Fermentas, Germany). Forward and reverse primers for exon-8 were 5'-GGCCATTCTGTTTTCTGT-3' and 5'-TCTGCTCAGTTCCTGGACAA-3' respectively. Both were designed and customized by entering the sequence from exon-8 into the JustBio.com server. Forward and reverse primers for exon-11 5'-ATTATTAAGGTGATCTATTTTC-3' and 5'-ACTGTTATGTGTACCCAAAAG-3' respectively, were proposed by Qingsheng Tian *et al.* (1999).

Amplifications were done using a MJ Mini Thermocycler (Bio-Rad, UK). The cycling conditions were adjusted from the procedure proposed by Tian *et al.* (1999). Briefly, denaturation was at 94°C for 40 seconds, followed by annealing at 56°C for 30 seconds, and extension at 72°C for 30 seconds, repeated for 30 cycles followed by a final extension step at 72°C for 8 minutes. Single-strand conformational polymorphism (SSCP) analysis was performed according to Orita *et al.* (1989) with few modifications. Samples were denatured at 94°C for 8 minutes and immediately snap-cooled. Fifty µl of amplified PCR product were loaded along with 20 µl of stop dye in a 10% polyacrylamide gel. The gel was run in pre-cooled 2X buffer at 4°C, for 12 hours at 150 volts. The DNA in the gel was stained after separation by electrophoresis using a silver stain. Electrophoresis mobility shift in single stranded or double stranded DNA from patients was detected and compared with DNA from wild-type controls (Fig. 1).

**DNA Sequencing.** Amplicons were sequenced using an automated sequencer, ABI 3730XL DNA Analyzer (Applied Biosystems, Foster city, California, USA) and analyzed using FinchTV Software. DNA mutations were reconfirmed by sequencing the amplicons in both directions and in independent second samples. The sequence was analysed using the BioEdit software from JustBio.

**Figure 1. SSCP-PAGE analysis showing electrophoresis mobility shift on native page.** DNA control was loaded in lane 1 and DNA from cases in 2, 3, 4, 5, and 6th lane (no shift in case 29 was observed, however, there were shifts in cases: 09, 13, 20, and 27).





## Results

Out of 90 Leukemia cases 51 (56.7%) were male and 39 (43.3%) were female with age ranging from 2-65 years. The mean age of cases is 38.25 years with a SD ± 6.21 (mean age of male cases was 38.60 years, SD ± 6.27 and mean age of female cases was 37.79 years, SD ± 6.15). The cases were classified according to the FAB criteria (Moskaluk *et al.*, 1997) as acute myeloid leukemia (AML) ( $n=60$ ), ALL ( $n=10$ ), CML ( $n=10$ ), CLL ( $n=10$ ). The details of clinical feature and demographic profile are

**Table 1.** c-kit gene point mutations at exon-11 in Leukemia cases.

Case	Leukemia Type	Nucleotide	Codon
09	AML	TAT → TCT TGG → TCA AGG → ATG	Tyr568Ser Trp582Ser Arg588Met
11	AML	ATA → CTA	Ile571Leu
12	AML	ATA → CTA	Ile571Leu
13	AML	AAA → AAC	Lys550Asn
17	AML	AAA → AAC	Lys550Asn
20	AML	TAC → TCC CCT → TCC TAT → CCT GAT → CAT CAC → CAA TGG → TCA AAC → GAC	Tyr570Ser Pro577Ser Tyr578Pro Asp579His His580Gln Trp582Ser Asn587Asp
23	AML	GTT → CTT	Val569Leu
27	AML	ATA → AAA ATA → ACA ACA → CCA CAA → CAC AGA → ACA	Ile563Lys Ile571Thr Thr574Pro Gln575His Arg586Thr

shown in supplementary tables 1 and 2. Out of 90 Leukemia cases, 80 samples were found to have mutations by a shift in DNA position on SSCP-PAGE with respect to DNA from healthy donors (Fig. 1). A total of 17 point mutations for c-kit gene at exon-11 were found in this investigation and only in eight cases with AML (Table 1, Fig. 2 and 5). In addition, six point mutations for c-kit gene at exon-8 for six AML and CML cases were detected by our experiments (Table 2, Fig. 3 and 4). After comparison to previous reported findings, as is shown in tables 3 and 4, c-kit point mutations at exon-11 for codons Ile563Lys, Val569Leu, Tyr570Ser, and Pro577Ser, and at exon-8 for codons Asn423Asp, Gln448Thr, and Gln448His are describe here for the first time.

After our findings, where we found point mutations around the protein, it was important to address where in the protein these mutation where located in order to determine the possible implication(s) of these mutations in protein function. Therefore, we analyzed the protein sequence (reference number for c-kit protein is P10721) using the UnitPro Knowledge Base server. Mutations for exon-11 are located between positions 546-976 bp and are in a cytoplasmic domain. Mutation Tyr568Ser is located in a metal binding site, specifically, a magnesium binding site. In addition, the Tyr residue at this position is normally autophosphorylated by autocatalysis (Price *et al.*, 1997; Mol *et al.*, 2003; Sun *et al.*, 2009; Zadjali *et al.*, 2011). Moreover, mutations Val569Leu and Tyr570Ser are located in a domain that interacts with phosphotyrosine-binding proteins, and residue Tyr570 is

**Figure 2.** Amino acid sequences of the exon-11 of c-kit gene. The sequence starts at codon 550 and ends at 591. The wild-type sequence is shown above. Seventeen point mutations in c-kit gene at exon-11 are highlighted in grey colour. Case number is indicated at the left column.

CODON	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591
Wild Type	K	P	M	Y	E	V	Q	W	K	V	V	E	E	I	N	G	N	N	Y	V	Y	I	D	P	T	Q	L	P	Y	D	H	K	W	E	F	P	R	N	R	L	S	F
Case 9	K	P	M	Y	E	V	Q	W	K	V	V	E	E	I	N	G	N	N	Y	V	Y	I	D	P	T	Q	L	P	Y	D	H	K	W	E	F	P	R	N	R	L	S	F
Case 11	K	P	M	Y	E	V	Q	W	K	V	V	E	E	I	N	G	N	N	Y	V	Y	I	D	P	T	Q	L	P	Y	D	H	K	W	E	F	P	R	N	R	L	S	F
Case 12	K	P	M	Y	E	V	Q	W	K	V	V	E	E	I	N	G	N	N	Y	V	Y	I	D	P	T	Q	L	P	Y	D	H	K	W	E	F	P	R	N	R	L	S	F
Case 13	K	P	M	Y	E	V	Q	W	K	V	V	E	E	I	N	G	N	N	Y	V	Y	I	D	P	T	Q	L	P	Y	D	H	K	W	E	F	P	R	N	R	L	S	F
Case 17	K	P	M	Y	E	V	Q	W	K	V	V	E	E	I	N	G	N	N	Y	V	Y	I	D	P	T	Q	L	P	Y	D	H	K	W	E	F	P	R	N	R	L	S	F
Case 20	K	P	M	Y	E	V	Q	W	K	V	V	E	E	I	N	G	N	N	Y	V	Y	I	D	P	T	Q	L	P	Y	D	H	K	W	E	F	P	R	N	R	L	S	F
Case 23	K	P	M	Y	E	V	Q	W	K	V	V	E	E	I	N	G	N	N	Y	V	Y	I	D	P	T	Q	L	P	Y	D	H	K	W	E	F	P	R	N	R	L	S	F
Case 27	K	P	M	Y	E	V	Q	W	K	V	V	E	E	I	N	G	N	N	Y	V	Y	I	D	P	T	Q	L	P	Y	D	H	K	W	E	F	P	R	N	R	L	S	F

normally autophosphorylated by autocatalysis. All point mutations in exon-8 are located in an Ig-like C2-type 5 domain which is located in position 413-507 bp and is part of the extracellular portion of the protein (residues 26-527). According to this information it seems most probably, that mutations in exon-11 will produce the worse alterations to the normal function of c-kit, because these mutations are located in places for autophosphorylation and magnesium binding sites. However, mutations at exon-8 may be affected ligand binding.

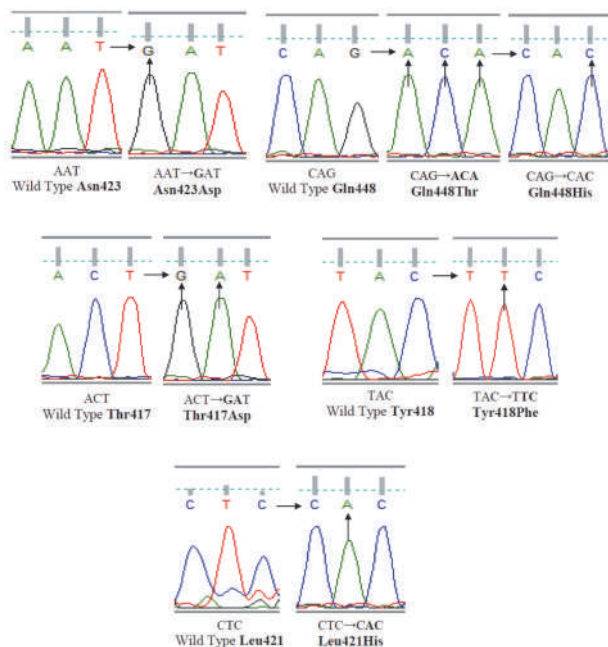
**Table 2.** c-kit gene point mutations at exon-8 in Leukemia cases.

Case	Leukemia Type	Nucleotide	Codon
05	AML	AAT → GAT	Asn423Asp
33	AML	CAG → CAC	Gln448His
56	AML	ACT → GAT	Thr417Asp
59	AML	CAG → ACA	Gln448Thr
60	CML	TAC → TTC	Tyr418Phe
81	CML	CTC → CAC	Leu421His

**Figure 3.** Amino acid sequences of the exon-8 of c-kit gene. The sequence starts at codon 412 and ends at 448. The wild-type sequence is shown above. Six point mutations in c-kit gene at exon-8 are shown in gray colour. Case number is indicated at the left column.

CODON	412	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	448
Wild Type	K	P	E	I	L	T	Y	D	R	L	V	N	G	M	L	Q	C	V	A	A	G	F	P	E	P	T	I	D	W	Y	F	C	P	G	T	E	Q
Case 5	K	P	E	I	L	T	Y	D	R	L	V	<b>G</b>	M	L	Q	C	V	A	A	G	F	P	E	P	T	I	D	W	Y	F	C	P	G	T	E	Q	
Case 33	K	P	E	I	L	T	Y	D	R	L	V	N	G	M	L	Q	C	V	A	A	G	F	P	E	P	T	I	D	W	Y	F	C	P	G	T	E	<b>H</b>
Case 56	K	P	E	I	L	<b>D</b>	Y	D	R	L	V	N	G	M	L	Q	C	V	A	A	G	F	P	E	P	T	I	D	W	Y	F	C	P	G	T	E	Q
Case 59	K	P	E	I	L	T	Y	D	R	L	V	N	G	M	L	Q	C	V	A	A	G	F	P	E	P	T	I	D	W	Y	F	C	P	G	T	E	<b>H</b>
Case 60	K	P	E	I	L	<b>T</b>	Y	D	R	L	V	N	G	M	L	Q	C	V	A	A	G	F	P	E	P	T	I	D	W	Y	F	C	P	G	T	E	Q
Case 81	K	P	E	I	L	T	Y	D	<b>R</b>	<b>H</b>	V	N	G	M	L	Q	C	V	A	A	G	F	P	E	P	T	I	D	W	Y	F	C	P	G	T	E	Q

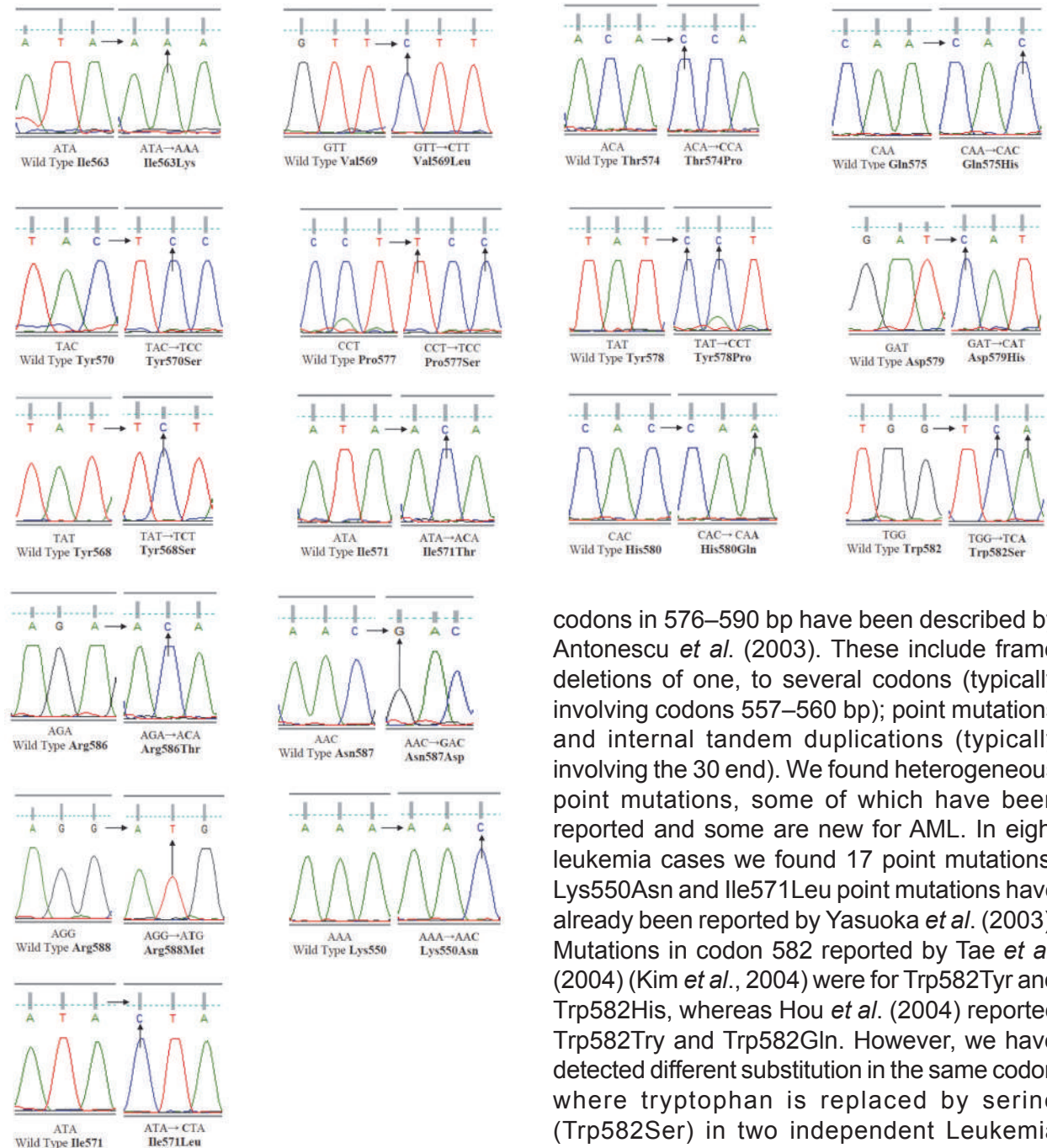
**Figure 4.** Mutations found during the sequencing analysis of c-kit at exon-8. Point mutations A→G, C→A, A→C, G→A, G→C, A→T, and T→A (resulting in the amino acid substitutions Asn423Asp, Gln448Thr, Gln448His, Thr417Asp, Tyr418Phe, and Leu421His).



## Discussion

To the best of our knowledge, this study is the first done from in and around the city of Lucknow, Uttar Pradesh, northern India. Here we report mutations in exon-8 and exon-11 of c-kit gene in Leukemia patients. Previous molecular studies in Asian populations (Chinese, Korean, and Japanese) have revealed several mutations in exon-11 in various types of tumours (Hou *et al.*, 2004; Choe *et al.*, 2006; Taniguchi *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2004). Mutations in exons-9, -13 and -17 of c-kit gene are less frequently detected than in exon-11. These are considered rare in gastrointestinal stromal tumors with a reported frequency of less than 10%, but are seen more commonly in hematopoietic malignancies and germ cell neoplasms (Lux *et al.*, 2000; Lasota *et al.*, 2000; Lasota *et al.*, 2008). In gastrointestinal stromal tumors, 65–92% of tumors are reported to harbor kit-activating mutations, the majority of which are localized to the juxtamembrane region involving exon-11 (Lasota *et al.*, 1999; Rubin *et al.*, 2001).

**Figure 5. Mutations found during the sequencing analysis of c-kit gen at exon-11.** Point mutations T→A, G→C, A→C, C→T, T→C, C→A, G→A, A→G, and G→T (resulting in the amino-acid substitution Ile563Lys, Val569Leu, Tyr570Ser, Pro577Ser, Tyr568Ser, Ile571Thr, Thr574Pro, Gln575His, Tyr578Pro, Asp579His, His580Gln, Trp582Ser, Arg586Thr, Asn587Asp, Arg588Met, Lys550Asn, and Ile571Leu).



The majority of exon-11 mutations are clustered within the classic hotspot region of the codon 5 end involving codons in 550–560 bp, however, a second hot spot at the codon 3 end involving

codons in 576–590 bp have been described by Antonescu *et al.* (2003). These include frame deletions of one, to several codons (typically involving codons 557–560 bp); point mutations and internal tandem duplications (typically involving the 3' end). We found heterogeneous point mutations, some of which have been reported and some are new for AML. In eight leukemia cases we found 17 point mutations. Lys550Asn and Ile571Leu point mutations have already been reported by Yasuoka *et al.* (2003). Mutations in codon 582 reported by Tae *et al.* (2004) (Kim *et al.*, 2004) were for Trp582Tyr and Trp582His, whereas Hou *et al.* (2004) reported Trp582Try and Trp582Gln. However, we have detected different substitution in the same codon where tryptophan is replaced by serine (Trp582Ser) in two independent Leukemia cases. Mutations at codons Tyr568Asp, Ile571Leu, Thr574Tyr, Gln575Ile, Tyr578Phe, Asp579Gln, Asp579Pro, His580Leu, His580Tyr, His580Pro, Arg586Trp, Arg586Ile, Arg586Phe, Arg586Asp, Asn587Glu, Asn587Pro, Asn587His



and Arg588Phe, Arg588Tyr, Arg588Lys have already been reported (Yasuoka *et al.*, 2003; Hou *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2004; Choe *et al.*, 2006).

As we aimed, we analyzed exon-11 of c-kit gene in order to detect point mutations in patients with Leukemia. In our analysis, we were able to determine new amino acids substitutions derived from the point mutations that we detected in exon-11 and we found: Tyr568Ser, Ile571Thr, Thr574Pro, Gln575His, Tyr578Pro, Asp579His, His580Gln, Arg586Thr, Asn587Asp, and Arg588Met (Table 1). From these mutations, we are reporting here, 4 novel mutations: Ile563Lys, Val569Leu, Tyr570Ser, and Pro577Ser which have never been reported in

**Table 3.** Comparison between mutations detected in our study or described already for c-kit gene at the exon-11.

Mutations	Novel Mutations	Mutation with different substitution		Existing Reported Mutations	References
		Not reported substitution (Our Result)	Reported Substitution		
ATA → AAA	Ile563Lys				
GTT → CTT	Val569Leu				
TAC → TCC	Tyr570Ser				
CCT → TCC	Pro577Ser				
TAT → TCT	Tyr568Ser	Tyr568Asp			Taniguchi <i>et al.</i> (1999)
ATA → ACA	Ile571Thr	Ile571Leu			Choe <i>et al.</i> (2006)
ACA → CCA	Thr574Pro	Thr574Tyr			Hou <i>et al.</i> (2004)
CAA → CAC	Gln575His	Gln575Ile			Hou <i>et al.</i> (2004)
TAT → CCT	Tyr578Pro	Tyr578Phe			Kim <i>et al.</i> (2004)
GAT → CAT	Asp579His	Asp579Gln Asp579Pro			Kim <i>et al.</i> (2004)
CAC → CAA	His580Gln	His580Leu His580Tyr His580Pro			Hou <i>et al.</i> (2004) Kim <i>et al.</i> (2004)
TGG → TCA	Trp582Ser	Trp582Tyr Trp582His Trp582Gln			Hou <i>et al.</i> (2004) Kim <i>et al.</i> (2004)
AGA → ACA	Arg586Thr	Arg586Trp Arg586Ile Arg586Phe Arg586Asp			Hou <i>et al.</i> (2004) Kim <i>et al.</i> (2004)
AAC → GAC	Asn587Asp	Asn587Glu Asn587Pro Asn587His			Hou <i>et al.</i> (2004) Kim <i>et al.</i> (2004)
AGG → ATG	Arg588Met	Arg588Phe Arg588Tyr Arg588Lys			Hou <i>et al.</i> (2004) Kim <i>et al.</i> (2004)
AAA → AAC			Lys550Asn		Taniguchi <i>et al.</i> (1999)
ATA → CTA			Ile571Leu		Choe <i>et al.</i> (2006)

the literature before (Table 3). All the mutations detected in exon-11, lie between codons 550-591. For a comparison purposes, we arrayed our findings with the ones found in the literature, see Table 3. From this table, it is easy to determine which point mutations are novel for the field.

On the other hand, we analyzed exon-8 of c-kit gene and we were able to find 6 point mutations (Table 2) in Leukemia cases: Thr417Val, Tyr418Arg, and Leu421Gly were previously reported by Taniguchi *et al.* (1999), and Kohl *et al.* (2005). In addition, we also detected substitutions: Thr417Asp, Tyr418Phe, and Leu421His which are novel for the field. Moreover, point mutations in codons 423 and 448 of exon-8 have not been reported for any type of Leukemia. However, it was remarkable to find out that these point mutations produced the following new substitutions: Asn423Asp, Gln448Thr, and Gln448His (Table 4).

**Table 4.** Novel mutations detected during our study or mutations described already for c-kit gene at exon-8.

Mutations	Novel mutations	Mutation with different substitution		References
		Not reported substitution (Our result)	Reported substitution	
AAT → GAT	Asn423Asp			
CAG → ACA	Gln448Thr			
CAG → CAC	Gln448His			
ACT → GAT		Thr417Asp	Thr417Val	Kohl <i>et al.</i> (2005) Gari <i>et al.</i> (1999)
TAC → TTC		Tyr418Phe	Tyr418Arg	Kohl <i>et al.</i> (2005) Gari <i>et al.</i> (1999)
CTC → CAC		Leu421His	Leu421Gly	Kohl <i>et al.</i> (2005) Gari <i>et al.</i> (1999)

From all point mutations detected it seems that the residue that was more replaced was isoleucine following by tyrosine. However, because point mutations in the c-kit protein were located in extra- and cytoplasmic-domains, we thought that maybe these mutations were affecting hydrophobicity of these domains. Indeed, mutations Arg588Met (exon-11) and Tyr418Phe (exon-8) were substitutions where a hydrolytic residue was replaced by a



hydrophobic residue. However, most of the mutations involved a substitution in a hydrophobic residue for a hydrophobic or conversely. Physiologically, it seems that mutations in exon-11 are possibly more relevant regarding c-kit protein function. Interestingly 3 tyrosines, 1 threonine and 2 lysines residues were substituted it, recall that tyrosines and threonines are phosphorylation targets and lysine is an ubiquitination and sumoylation target.

Normally, these types of residues in membrane proteins are target for post-translational modifications and mutations in them may change the way of how proteins function (Miranda *et al.*, 2007; Vargas-Medrano *et al.*, 2011). In contrast, for exon-11, 4 serines, 2 threonines and 1 lysine were detected as the end residue product from a point mutation. Importantly, threonine and serine residues are phosphorylation targets and lysine residue is a ubiquitination and sumoylation target (Miranda *et al.*, 2007; Vargas-Medrano *et al.*, 2011).

These changes may affect the normal phosphorylation and ubiquitination maps for c-kit protein which can modify the way of how c-kit functions. However, experimental data for these hypotheses need to be first generated in order to determine if mutations described here have a significant effect on the c-kit protein activity.

## Conclusions

In summary, this study is the first to report the presence of c-kit gene mutations in Leukemia cases in northern India. Mutations in exon-8 and -11 may be involved in c-kit over expression in Leukemia. Four novel mutations at codons Ile563Lys, Val569Leu, Tyr570Ser, and Pro577Ser in exon-11 and three novel mutations at codons Asn423Asp, Gln448Thr, and Gln448His in exon-8 c-kit gene might be useful as molecular genetic markers for Leukemia. Future studies in a larger group may be required to determine the prognostic implications and how these mutations are related with progression and pathogenesis of myeloid malignancy. Based on our *in silico* analysis, only mutations in exon-11 seem to play a crucial role

in altering the biochemistry of c-kit protein, because point mutations at Tyr568Ser, Val569Leu, and Tyr570Ser are in places for autophosphorylation or magnesium binding which are crucial steps in signaling from ligand binding. However, this is something that needs to be elucidated by additional experiments. On the other hand, mutations in exon-8 may also be involved in ligand binding. From them, mutation Tyr568Ser is located in a magnesium binding site. In addition, the Tyr residue at this position is normally autophosphorylated by autocatalysis (Price *et al.*, 1997; Mol *et al.*, 2003; Sun *et al.*, 2009; Zadjali *et al.*, 2011). Moreover, mutations Val569Leu and Tyr570Ser are located in a domain that interacts with phosphotyrosine-binding proteins, and residue Tyr570 is normally autophosphorylated by autocatalysis.

The identification of novel mutations in c-kit in patients with AML not only provides new insight into the pathogenesis of this disease, but also may serve to provide a means of confirming a diagnosis and assessing prognosis for developing new intervention strategies. The incidence of mutations at exon-8 and -11 is high and might be involved in pathogenesis of AML. The mutations described here are recommended as prognostic markers in the northern Indian population. However, we do not discard the idea that these mutations could be found in other populations around the world.

## Acknowledgments

This study was supported by the Intramural Grant from the Era's Lucknow Medical College and Hospital, Lucknow, India.

## References

- ABU-DUHIER, F.M. A.C. Goodeve, G.A. Wilson, R.S. Care, I.R. Peake and J.T. 2001. Reilly. Identification of novel FLT-3 Asp835 mutations in adult acute myeloid leukaemia. *Br. J. Haematol.* 113(4):983-988.
- ANTONESCU, C.R., G. Sommer, L. Sarran, S.J. Tschernyavsky, E. Riedel, J.M. Woodruff, M. Robson, R. Maki, M.F. Brennan, M. Ladanyi, R.P. DeMatteo and P. Besmer. 2003. Association of KIT exon 9 mutations with nongastric primary siteand aggressive behavior: kit mutation analysis and clinical correlates of 120 gastrointestinal stromal tumors. *Clin. Cancer Res.* 9(9):3329-3337.

- BENNETT, J.M., D. Catovsky, M.T. Daniel, G. Flandrin, D.A. Galton, H.R. Gralnick and C. Sultan. 1976. Proposal for the classification of the acute leukaemias. French American British (FAB) cooperative group. *Br. J. Haematol.* 33:451-458.
- CHOE, Y.S., J.G. Kim, S.K. Sohn, D.H. Kim, J.H. Baek, K.B. Lee, Y.R. Do, K.Y. Kwon, H.S. Song, M.H. Lee and T.I. Park. 2006. Kimc-kit Expression and mutations in peripheral T cell lymphomas, except for extra-nodal NK/T cell lymphomas. *Leuk. Lymphoma.* 47(2):267-270.
- COLE, S. R., G.W. Aylett, N.L. Harvey, A.C. Cambareri, and L.K. Ashman. 1996. Increased expression of c-Kit or its ligand Steel Factor is not a common feature of adult acute myeloid leukaemia. *Leukemia* 10:288-296.
- GAO, X.N. J. Lin, Y.H. Li, L. Gao, X.R. Wang, W. Wang, H.Y. Kang, G.T. Yan, L.L. Wang, and L. Yu. 2011. MicroRNA-193a represses c-kit expression and functions as a methylation-silenced tumor suppressor in acute myeloid leukemia. *Oncogene.* 30(31):3416-28.
- GARI, M., A. Goodeve, G. Wilson, P. Winship, S. Langabeer, D. Linch, E. Vandenbergh, I. Peake, and J. Reilly. 1999. C-kit proto-oncogene exon 8 in-frame deletion plus insertion mutations in acute myeloid leukaemia. *Br. J. Haematol.* 105(4):894-900.
- HIGUCHI, M., D. O'Brien, P. Kumaravelu, N. Lenny, E.J. Teoh, and J.R. Downing. 2002. Expression of a conditional AML1-ETO oncogene bypasses embryonic lethality and establishes a murine model of human t(8;21) acute myeloid leukemia. *Cancer Cell* 1:63-74.
- HOU, Y.Y., Y.S. Tan, M.H. Sun, Y.K. Wei, J.F. Xu, S.H. Lu, S.J. A-Ke-Su, Y.N. Zhou, F. Gao, A.H. Zheng, T.M. Zhang, W.Z. Hou, J. Wang, X. Du, and X.Z. Zhu. 2004. C-kit gene mutation in human gastrointestinal stromal tumors. *World J. Gastroenterol.* 10(9):1310-1314.
- IHLE, J.N., B.A. Witthuhn, F.W. Quelle, K. Yamamoto, and O. Silvennoinen. 1995. Signaling through the hematopoietic cytokine receptors. *Annu. Rev. Immunol.* 13:369-398.
- KIM, T.W., H. Lee, Y.K. Kang, M.S. Choe, M.H. Ryu, H.M. Chang, J.S. Kim, J.H. Yook, B.S. Kim, and J.S. Lee. 2004. Prognostic Significance of c-kit Mutation in Localized Gastrointestinal Stromal Tumors. *Clinical Cancer Research* 10(9):3076-3081.
- KOHL, T.M., S. Schnittger, J.W. Ellwart, W. Hiddemann, and K. Spiekermann. 2005. KIT exon 8 mutations associated with core-binding factor (CBF)-acute myeloid leukemia (AML) cause hyperactivation of the receptor in response to stem cell factor. *Blood* 105(8):3319-3321.
- LASOTA, J., A. Wozniak, M. Sarlomo-Rikala, J. Rys, R. Kordek, A. Nassar, L.H. Sobin, and M. Miettinen. 2000. Mutations in exons 9 and 13 of KIT gene are rare events in gastrointestinal stromal tumors. A study of 200 cases. *Am. J. Pathol.* 157(4):1091-1095.
- LASOTA, J., C. L. Corless, M.C. Heinrich, M. Debiec-Rychter, R. Sciort, E. Wardelmann, S. Merkelbach-Bruse, H. U. Schildhaus, S. E. Steigen, J. Stachura, A. Wozniak, C. Antonescu, O. Daum, J. Martin, J.G. Del Muro, and M. Miettinen. 2008. Clinicopathologic profile of gastrointestinal stromal tumors (GISTs) with primary KIT exon 13 or exon 17 mutations: a multicenter study on 54 cases. *Mod. Pathol.* 21(4):476-484.
- LASOTA, J., M. Jasinski, M. Sarlomo-Rikala, and M. Miettinen. 1999. Mutations in exon 11 of c-Kit occur preferentially in malignant versus benign gastrointestinal stromal tumors and do not occur in leiomyomas or leiomyosarcomas. *Am. J. Pathol.* 154(1):53-60.
- LUX, M.L., B.P. Rubin, T.L. Biase, C.J. Chen, T. Maclure, G. Demetri, S. Xiao, S. Singer, C.D. Fletcher, and J.A. Fletcher. 2000. KIT extracellular and kinase domain mutations in gastrointestinal stromal tumors. *Am. J. Pathol.* 156(3):791-795.
- MARCUCCI, G., T. Haferlach, and H. Döhner. 2011. Molecular genetics of adult acute myeloid leukemia: prognostic and therapeutic implications. *J. Clin. Oncol.* 29(5):475-86.
- MARTÍN-BROTO, J. L. Rubio, R. Alemany, and J.A. López-Guerrero. 2010. Clinical implications of KIT and PDGFRA genotyping in GIST. *Clin. Transl. Oncol.* 12(10):670-6.
- MATTHEWS, W., C.T. Jordan, G.W. Wiegand, D. Pardoll, and I.R. Lemischka. 1991. A receptor tyrosine kinase specific to hematopoietic stem and progenitor cell-enriched populations. *Cell* 65(7):1143-1152.
- MIRANDA, M., K.D. Dionne, T. Sorkina and A. Sorkin. 2007. Three ubiquitin conjugation sites in the amino terminus of the dopamine transporter mediate protein kinase C-dependent endocytosis of the transporter. *Mol. Biol. Cell.* 18(1):313-23.
- MOL, C.D. K.B. Lim, V. Sridhar, H. Zou, E.Y. Chien, B.C. Sang, J. Nowakowski, D.B. Kassel, C.N. Cronin, and D.E. McRee. 2003. Structure of a c-kit product complex reveals the basis for kinase transactivation. *J. Biol. Chem.* 278(34):31461-4.
- MOSKALUK, C.A. and S.E. Kern. 1997. Microdissection and Polymerase Chain Reaction Amplification of Genomic DNA from Histological Tissue Sections. *Am. J. Pathol.* 150(5):1547-52.
- ORITA, M., H. Iwahana, H. Kanazawa, K. Hayashi, and T. Sekiya. 1989. Detection of polymorphisms of human DNA by gel electrophoresis as single-strand conformation polymorphism. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 86(8):2766-70.
- PILOTO, O., M. Wright, P. Brown, K. T. Kim, M. Levis, and D. Small. 2007. Prolonged exposure to FLT3 inhibitors leads to resistance via activation of parallel signaling pathways. *Blood.* 109(4):1643-52.
- PRICE, D.J., B. Rivnay, Y. Fu, S. Jiang, S. Avraham, and H. Avraham. 1997. Direct association of Csk homologous kinase (CHK) with the diphosphorylated site Tyr568/570 of the activated c-KIT in megakaryocytes. *J. Biol. Chem.* 272(9):5915-20.
- REILLY, J. T. 2002. Class III receptor tyrosine kinases: role in leukaemogenesis. *Br. J. Haematol.* 116:744-757.
- REUSS-BORST, M.A., H.J. Bühring, H. Schmidt, and C.A. Muller. 1994. AML: immunophenotypic heterogeneity and prognostic significance of c-kit expression. *Leukemia* 8(2):258-263.
- ROWLEY, J.D. 1973. Identification of a translocation with quinacrine fluorescence in a patient with acute leukemia. *Ann. Genet.* 16(2):109-112.
- RUBIN, B.P., S. Singer, C. Tsao, A. Duensing, M.L. Lux, R. Ruiz, M.K. Hibbard, C.J. Chen, S. Xiao, D.A. Tuveson, G.D. Demetri, C.D. Fletcher, and J.A. Fletcher. 2001. KIT activation is a ubiquitous feature of gastrointestinal stromal tumors. *Cancer Res.* 61(22):8118-8121.
- SIHTO, H., M. Sarlomo-Rikala, O. Tynneninen, M. Tanner, L.C. Andersson, K. Franssila, N.N. Nupponen, and H. Joensuu. 2005. KIT and Platelet-Derived Growth Factor Receptor Alpha Tyrosine Kinase Gene Mutations and KIT Amplifications in Human Solid Tumors. *Journal of Clinical Oncology* 23(1):49-57.
- SMITH, B.D., M. Levis, M. Beran, F. Giles, H. Kantarjian, K. Berg, K.M. Murphy, T. Dausies, J. Allebach, and D. Small. 2004. Single-agent CEP-701, a novel FLT3 inhibitor, shows biologic and clinical activity in patients with relapsed or refractory acute myeloid leukemia. *Blood* 103(10):3669-76.
- SUN, J., M. Pedersen, and L. Rönstrand. 2009. The D816V mutation of c-Kit circumvents a requirement for Src family kinases in c-Kit signal transduction. *Biol. Chem.* 284(17):11039-47.

- TANIGUCHI, M., T. Nishida, S. Hirota, K. Isozaki, T. Ito, T. Nomura, H. Matsuda, and Y. Kitamura. 1999. Effect of c-kit Mutation on Prognosis of Gastrointestinal Stromal Tumors. *Cancer research* 59(17):4297–4300.
- TIAN, Q., H.F. Jr Frierson, G.W. Krystal, and C.A. Moskaluk. 1999. Activating *c-kit* Gene Mutations in Human Germ Cell Tumors. *Am. J. Pathol.* 154(6):1643–1647.
- ULLRICH, A., and J. Schlessinger. 1990. Signal transduction by receptors with tyrosine kinase activity. *Cell* 61(2):203-212.
- VARGAS-MEDRANO, J., V. Castrejon, I. Ramirez, and M. Miranda-Arango. (2011). PKC $\beta$ -dependent phosphorylation of the glycine transporter 1. *Neurochem. Int.* 59(8):1123-1132.
- YARDEN, Y., and A. Ullrich. 1988. Growth factor receptor tyrosine kinase. *Annu. Rev. Biochem.* 57:443-478.
- YASUOKA, R., C. Sakakura, K. Shimomura, Y. Fujita, M. Nakanishi, H. Aragane, A. Hagiwara, M. Bamba, T. Abe, and H. Yamagishi. 2003. Mutations in exon-11 of the C-KIT gene in a Myogenic Tumor and a Neurogenic tumor as well as in gastrointestinal stromal tumors. *Digestive Surgery* 20(3):183-191.
- ZADJALI, F. A.C. Pike, M. Vesterlund, J. Sun, C. Wu, S.S. LiS, L. Rönstrand, S. Knapp, A.N. Bullock, and A. Flores-Morales. 2011. Structural basis for c-KIT inhibition by the suppressor of cytokine signaling 6 (SOCS6) ubiquitin ligase. *Biol. Chem.* 286(1):480-90.

**Supplementary table 1.** Demographic profile of patients

Variables	AML (n = 60)	ALL (n = 10)	CML (n = 10)	CLL (n = 10)
M (%) / F (%)	34 (56.7%) / 26 (43.3%)	06 (60.0%) / 04 (40.0%)	05 (50.0%) / 05 (50.0%)	06 (60.0%) / 04 (40.0%)
Age range	2-65	25-47	33-56	30-56
Mean ( $\pm$ SD)	36.43 ( $\pm$ 6.08)	35.70 ( $\pm$ 6.29)	43.70 ( $\pm$ 6.96)	46.30 ( $\pm$ 7.17)
<b>Clinical features</b>				
WBC count cells/ $\mu$ l / cumm	15000 - 60000	20000 - 40000	25000 - 450000	18000 - 35000
FAB	M <sub>0</sub> (n = 10), M <sub>1</sub> (n = 15), M <sub>2</sub> (n = 15), M <sub>3</sub> (n = 04), M <sub>4</sub> (n = 08) and M <sub>5</sub> (n = 08)	L1/ L2 (n = 10)	CML Chronic phase (n = 10)	CLL (n = 10)

**Supplementary table 2.** Demographic profile of controls

Variables	Normal Healthy (n = 100)
M (%) / F (%)	58 (56.7%) / 42 (43.3%)
Age range	2-65
Mean ( $\pm$ SD)	36.43 ( $\pm$ 6.08)
Clinical features	All morphological features normal and < 5% blast cells
WBC count cells/ $\mu$ l / cumm	4300- 10800

Cite this article as follows:

Hussain, S. R., A. Siddiqui, J. Vargas-Medrano, H. Naqvi, J. Mohl, F. Mahdi and F. Ahmad. 2012.  
*Identification of novel point mutations in c-kit gene from Leukemia cases: a study from Lucknow, Uttar Pradesh, India. TECNOCENCIA Chihuahua* 6(1): 22-32.

## Resumes of the author and co-authors

**SYED RIZWAN HUSSAIN.** He was born in Bokaro Steel City India on 11<sup>th</sup> August 1980. He did his Bachelor's degree in CBZ (Chemistry, Biology and Zoology) and Master's degree in Biomedical Sciences from India. He is pursuing his Ph.D. in Human Cancer Genetics from University of Baba Saheb Bhim Rao Ambedkar University India. He has a diverse area of research, such as Human Cancer Genetics, Molecular Diagnosis, Medical Clinical Biochemistry and Male Infertility. Currently, Syed Rizwan is a Research Assistant at Department of Biotechnology, Era's Lucknow Medical College and Hospital, India.

**AMNA SIDDIQUI.** She was born in Jhansi India in October 9<sup>th</sup> 1979. She did Bachelor's degree in CBZ (Chemistry, Biology and Zoology) and Master's degree in Biotechnology from India. She completed her Ph.D. in Biotechnology from University of Bundelkhand India in 2010. She joined as a Sr. Manager in 2009 at Hindustan Bioenergy Ltd Lucknow India. She has diverse area of research such as Molecular biology, Microbiology, Plant biology and Human genetics. Currently, Dr. Amna is a Postdoctoral-Research Associate at Texas Tech University Health Science Center and Paul L. Foster School of Medicine. She got many scientific awards and fellowships in India.

**JAVIER VARGAS MEDRANO.** He was born in Juarez City, Chih., México. From 1999-2005, Dr. Vargas attended college at the Autonomous University of Juarez City. During his Bachelor's degree, Dr. Vargas was involved in the field of Toxicology, studying the effect of pesticides on Ca<sup>2+</sup>-ATPases, and he became author of many publications and conferences. Later, he attended graduate school at the University of Texas at El Paso, where he was involved in a research project studying the glycine transporter and its regulation, and its possible role as a pharmacological target in the treatment of schizophrenia. During his doctoral studies, he was awarded with two research assistantships funded by the National Institute of Health and Mental Health. Currently, Dr. Vargas is member of the American Chemical Society and he is a Postdoctoral-Research Associate at Texas Tech University Health Science Center and Paul L. Foster School of Medicine.

**HENA NAQVI.** She was born on 8<sup>th</sup> December 1982 at Gorakhpur India. She did her Bachelor's degree in CBZ (Chemistry, Biology and Zoology) and Master's degree in Biotechnology from India. She is pursuing her Ph.D. in Molecular Medical Genetics from C.S.M. Medical University, (Formerly-K.G. Medical University), Lucknow, India. She has worked as a junior lecturer in 2006-07 at Capital College, Bangalore, India. She joined as a Research Assistant in 2008 at Era's Lucknow Medical College and Hospital, Lucknow, India. Her area of research is Molecular biology, Human genetics and Male infertility. Currently, Ms. Hena Naqvi is working as Women Scientist A approved by Department of Science and Technology, Govt. of India at Era's Lucknow Medical College and Hospital, Lucknow, India.

**JONATHON MOHL.** He was born in St Louis, Missouri, United States (USA). He received a Bachelors of Science in Microbiology and Biochemistry at Colorado State University in Fort Collins, Colorado in 2002. While attaining this degree, he worked in a Mycobacterial laboratory working on *M. avium* and *M. avium* ssp. *paratuberculosis*. He also worked as a teaching assistant in a molecular biology laboratory. After moving to El Paso, Texas, USA, he received a Professional Master of Science degree in Bioinformatics in 2009 at the University of Texas at El Paso. In the process of attaining his Master's degree, he worked at a bioinformatics programmer on the RNAVLab project and as a teaching assistant in the introductory bioinformatics courses. Currently, he is working in HIV research lab at the Texas Tech University Health Sciences Center in El Paso as a research aid.

**FARZANA MAHDI.** He was born on 28<sup>th</sup> June 1966 at Lucknow, India. She did her Bachelor's degree in CBZ (Chemistry, Biology and Zoology) and a Master's degree in Organic Chemistry from India. She completed her Ph.D. in Life Sciences from Kanpur University 1992. She joined as an Assistant Professor in 2000 at Era's Lucknow Medical College and Hospital, Lucknow, India. She has diverse area of research such as Free Radical Biology, Toxicology, Clinical Biochemistry, Molecular aspects of metal toxicity, Male infertility, Human Cancer Genetics. Currently, Dr. Farzana is Life Member of Indian Society for Reproductive Biology and Comparative Endocrinology and Association of Clinical Biochemists of India. She is also a Founder Member of Society for Free Radical Research India. Currently, she is working as a Professor in Department of Biochemistry, Era's Lucknow Medical College and Hospital, Lucknow, India.

**FAHIM AHMAD.** He was born in Daltonganj India in 12<sup>th</sup> October 1976. He did a Bachelor's and Master's degrees in Biotechnology from India. He completed his Ph.D. in Human Genetics from the University of Bundelkhand India in 2007. He joined as an Assistant Professor in 2009 at Isabella Thoburn College Lucknow, India. Dr. Ahmad has diverse area of research such as Human genetics, Molecular Virology and Cancer Genetics. Currently, Dr. Ahmad is member of Biotechnological Board in Jharkhand State and is a Postdoctoral-Research Associate at Texas Tech University Health Science Center and Paul L. Foster School of Medicine. He got many scientific awards and fellowships in India. His current project at Texas Tech University Health Sciences Center focuses on the mechanisms of genetic resistance to HIV-1 infection funded by the National Institute of Health.



# Revisión: Mecanismos moleculares de la neurofibromatosis tipo 2

Review:  
The molecular mechanisms of neurofibromatosis type 2

JORGE ANÍBAL SIERRA-FONSECA<sup>1,2</sup>, JAVIER VARGAS-MEDRANO<sup>1,3</sup>  
Y LUIS FERNANDO PLENGE-TELLECHEA<sup>1,4</sup>

Recibido: Junio 3, 2011

Aceptado: Noviembre 4, 2011

## Resumen

En este trabajo presentamos una revisión sobre hallazgos más relevantes de la neurofibromatosis tipo 2 (NF2), la cual se conoce por ser un desorden autosómico dominante caracterizado por la presencia de schwannomas vestibulares bilaterales, aunque pueden presentarse otros tumores como meningiomas y ependimomas. Esta enfermedad es causada por diversas mutaciones en el gen *NF2*, mismo que codifica una proteína conocida como merlina o schwannomina. Merlina está relacionada estructuralmente con la familia de proteínas ERM (Ezrina-Radixina-Moesina), encargadas de acoplar las señales provenientes de las glucoproteínas de la membrana plasmática con el citoesqueleto de actina. El gen *NF2* es considerado como un supresor de tumores, y las evidencias indican que merlina funciona regulando la proliferación y el crecimiento celular. Sin embargo, los mecanismos específicos por medio de los cuales merlina cumple con su función siguen siendo un enigma. Se han identificado diversas moléculas que interactúan con merlina, lo que ha proporcionado indicios acerca de los diversos procesos celulares en los cuales esta molécula participa. Entre las proteínas que interactúan con merlina se incluyen proteínas de función estructural, receptores de membrana plasmática, proteínas citosólicas, GTPasas y adaptadores citoesqueléticos. Las mutaciones en el gen *NF2* afectan la funcionalidad de merlina, lo que produce alteraciones en los mecanismos de acción de merlina dando como origen a la NF2. Son necesarios más estudios para determinar con certeza el papel de merlina en el control de la proliferación celular.

**Palabras clave:** neurofibromatosis tipo 2, merlina, citoesqueleto, membrana plasmática.

## Abstract

In this work, we present a review over the most relevant information of the neurofibromatosis type 2 (NF2), which is known as an autosomal dominant disorder characterized by the presence of bilateral vestibular schwannomas. Other tumors such as meningiomas and ependymomas may be present. The disease is caused by mutations in the *NF2* gene, which encodes a protein known as merlin or schwannomin. Merlin is structurally related to the ERM (Ezrina-Radixina-Moesina) family of proteins, a group of molecules responsible for linking the signals coming from the plasma membrane glycoproteins to the actin cytoskeleton. The *NF2* gene is considered as a tumor suppressor gene, and the evidence indicates that merlin functions by regulating the cell growth and proliferation. However, the specific mechanisms through which merlin fulfill its functions as a tumor suppressor remains enigmatic. Several molecules that interact with merlin have been identified. This has provided clues to determine the cellular processes in which merlin participates. These molecules include structural proteins, plasma membrane receptors, cytosolic proteins, GTPases, and cytoskeletal adapters. Mutations in the *NF2* gene affect the functionality of merlin, altering the mechanisms of action of merlin, giving rise to NF2. Further studies are needed to determine the precise role of merlin on the control of cell proliferation.

**Keywords:** neurofibromatosis type 2, merlin, cytoskeleton, plasma membrane.

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Av. Plutarco Elías Calles Núm. 1210 Fovissste Chamizal. Cd. Juárez, Chih., México. C. P. 32300. Tel/Fax: 656 688 1800 al 09.

<sup>2</sup> Department of Biological Sciences, University of Texas at El Paso, El Paso, TX, U.S.A. 79968

<sup>3</sup> Center of Excellence for Infectious Diseases, Biomedical Sciences Department, Texas Tech University Health Science Center and Paul L. Foster School of Medicine, El Paso, TX, U.S.A. 79905

<sup>4</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: fplenge@uacj.mx.

<sup>2,3</sup> Dirección actual de permanencia.

## Introducción

La neurofibromatosis tipo 2 (NF2) es un desorden autosómico dominante con una prevalencia (que inicialmente fue estimada en 1:200,000) de alrededor de 1:60,000, gracias a la disposición de técnicas modernas y de detección oportuna (Evans, 2009); la mitad de los casos surgidos fue a partir de mutaciones espontáneas (Evans, 2009; Evans *et al.*, 2011). La penetrancia de la enfermedad es de alrededor del 95%.

Fue en 1822 cuando el cirujano escocés Wishart describió por primera vez un caso de NF2 (Friedman *et al.*, 1999; Evans *et al.*, 2000). El rasgo clínico característico del padecimiento es la presencia de schwannomas vestibulares bilaterales, que son tumores de la rama vestibular del octavo par craneal de nervios. También pueden presentarse meningiomas, ependimomas, gliomas y cataratas. Este padecimiento por lo general es grave y puede haber pérdida del oído. La cirugía para extirpar tumores con frecuencia trae como consecuencia la parálisis facial. Es posible encontrar neurofibromas en pacientes con NF2, aunque los neurofibromas plexiformes no son parte de las manifestaciones de esta enfermedad. Los tumores del sistema nervioso central de pacientes con NF2 pueden malignizarse, aunque esto sólo sucede en el 0.5% de los casos (Xiao *et al.*, 2003; Hirsch *et al.*, 2004). La NF2 pertenece a un grupo de enfermedades conocidas como facomatosis (Korf, 2004; Korf, 2005), caracterizadas por el desarrollo de tumores benignos y malignos que afectan predominantemente al sistema nervioso. El concepto de facomatosis fue formulado a principios del siglo veinte por el oftalmólogo Van der Hoeve (1932) [*Trans Ophthalmol Soc U. L.* 1932;52:380-401], donde incluyó tres desórdenes crónicos en los que aparece a través del tiempo un incremento de patologías, debido a la mutación de distintos genes. Estos desórdenes ocasionan tumores como neurofibromas (neurofibromatosis tipo 1, [NF1]), schwannomas (NF2), angiomiopatías (complejo de esclerosis tuberosa, [TSC]) y hemangio-blastomas (síndrome de Von Hippel-Lindau [VHL]). El desarrollo tumoral en NF2 se

ajusta al modelo del doble impacto propuesto por Knudson para los genes supresores de tumores en su estudio estadístico del retinoblastoma (Knudson, 1971). Él apoyó sus observaciones basadas en casos clínicos y de reportes publicados, desarrollando la hipótesis de que el retinoblastoma es un cáncer causado por dos eventos mutacionales. En la forma hereditaria dominante, la mutación es heredada a través de las células germinales (unilateral) y la segunda ocurre en células somáticas. Esta última mutación no fue adquirida de forma heredable, puede ser adquirida por el ambiente (sola, sin combinarse con la germinal podría considerarse unilateral). La suma de estas mutaciones heredadas de tipo germinal y la somática producen una mutación bilateral. La segunda mutación (somática), produce un promedio de tres retinoblastomas por individuo, que a su vez heredó la mutación de alguno de sus progenitores (mutación bilateral). Los cálculos se basaron en estimaciones indirectas a través de un análisis estadístico de distribución de Poisson. Con estos datos se pueden obtener tres cálculos diferentes: se puede explicar el portador ocasional del gen que no presenta tumor, los que desarrollan solamente tumores unilaterales o bilaterales, así como explicar los casos de tumores múltiples en un ojo. Este valor promedio para el número de tumores que ocurren en los portadores genéticos puede ser de utilidad con el fin de estimar la tasa de mutación para cada tipo de mutación.

La finalidad de esta revisión es recopilar la información relevante sobre las bases y mecanismos moleculares que caracterizan a la neurofibromatosis tipo 2.

## El gen *NF2*

La *NF2* es provocada por mutaciones en el gen *NF2*, mismo que codifica a una proteína llamada merlina, o en ocasiones también llamada schwannomina (Rouleau, *et al.*, 1993). La posición cromosómica del gen *NF2* es 22q12 (Scoles, 2008). Este gen es de aproximadamente 100 kb de ADN genómico, contiene 17 exones y se le considera como un gen supresor de tumores (Rouleau *et al.*, 1993; Bianchi *et al.*, 1994; Zucman-Rossi *et al.*, 1998). La tasa de mutación de este gen se calcula en  $6.5 \times 10^{-6}$  (Kimura *et al.*, 2000). Se han descrito dos principales ARNm transcritos a partir del gen *NF2*, con tamaños de 2.6 kb y 7 kb, aunque también se ha detectado un transcrito débil de 4.4 kb (Shang *et al.*, 2002). Actualmente se conocen más de 100 mutaciones para este gen (Zucman-Rossi *et al.*, 1998). Estas alteraciones son principalmente mutaciones sin sentido, mutaciones por cambio de marco, variaciones en el empalme (*splicing*) y deleciones. Este tipo de mutaciones dan origen a una proteína truncada con una funcionalidad reducida. Además, la pérdida del cromosoma 22 o de su brazo largo es el evento más común en schwannomas, y se han encontrado mutaciones del gen *NF2* en diversos tumores malignos como mesoteliomas, tumores perineurales, carcinomas esporádicos de la tiroides y carcinomas hepatocelulares, aunque estos tumores no son parte de la sintomatología de la enfermedad. El aislamiento del gen *NF2* ha facilitado la identificación de mutaciones dentro de *NF2*, sin embargo, no se ha logrado establecer una clara relación entre genotipo y fenotipo (Welling, 1998). La inactivación del gen *NF2* y la pérdida de la expresión de merlina se asocian al desarrollo de meningiomas y schwannomas. En el caso de schwannomas y meningiomas que ocurren de forma esporádica, la expresión de merlina se pierde hasta en el 80% de los casos. Además, la reintroducción de merlina funcional *in vitro* en schwannomas y meningiomas trae como resultado una supresión del crecimiento celular (Evans *et al.*,

1992; Wolff *et al.*, 1992; Bianchi *et al.*, 1994; Bianchi *et al.*, 1995; DenBakker *et al.*, 1995; Gutmann *et al.*, 1997; Poyhonen, 1999; Lasota *et al.*, 2001; Reed y Gutmann, 2001; Pineau *et al.*, 2003; Sheik *et al.*, 2004.)

## Merlina y las proteínas ERM

Hoy día se conocen alrededor de 10 isoformas humanas de merlina, donde las más comunes son las isoformas I y II que básicamente difieren en el C-terminal que pertenecen a los exones 16 y 17 respectivamente (Rouleau *et al.*, 1993). La isoforma I de merlina está constituida por 595 residuos de aminoácidos, mientras que la isoforma II posee 590 residuos, ambas poseen masas aproximadas de entre 65-70 kDa (Schimizu *et al.*, 2002). El término merlina proviene del inglés *moesin*, *ezrin*, *radixin-like protein*. El empalme alternativo produce dos isoformas de merlina, y aunque se han descrito otras dos isoformas de merlina a nivel de ARN, por el momento se desconoce la importancia fisiológica de la existencia de estas variantes. Merlina se expresa en células del sistema nervioso central como neuronas, células gliales, células de Schwann, astrocitos, células meningoeliales y células endoteliales, aunque también se expresa en fibroblastos y linfocitos (Stamenkovic y Yu, 2010). La expresión de esta proteína también puede ser detectada en órganos como el riñón, los pulmones, gónadas, hígado, páncreas, seno, retina, glándula suprarrenal y vasos sanguíneos. Aunque el gen *NF2* fue clonado de manera independiente por dos grupos de investigación en 1993 (Rouleau *et al.*, 1993), las funciones de su producto proteico y sus mecanismos de acción siguen sin comprenderse por completo. Merlina muestra una homología estructural significativa entre el 45-47% con una familia de proteínas altamente conservadas: las proteínas ERM (*Ezrina-Radixina-Moesina*), pertenecientes a la superfamilia de la proteína 4.1 (Figs. 1 y 2). A este grupo de proteínas se les atribuyen funciones de organización del citoesqueleto,

específicamente uniendo proteínas de la superficie celular con los microfilamentos de actina. Los miembros de esta superfamilia de proteínas se caracterizan por la presencia de una región de 35 kDa conocida como dominio FERM (Four.1 protein, Ezrina, Radixina, Moesina). En las proteínas ERM, este dominio está seguido por una región de hélices  $\alpha$  y el extremo carboxilo terminal. La estructura primaria de merlina es muy similar a la descrita, ya que también contiene tres dominios estructurales: el dominio FERM (residuos 1-302), una región de hélices  $\alpha$  (residuos 303-478) y el extremo carboxilo terminal que abarca los residuos 479-595 (Rouleau *et al.*, 1993; Trofatter *et al.*, 1993; Bianchi *et al.*, 1994; Chishti *et al.*, 1998; Schmuker *et al.*, 1999; Sainio, 2000; Shimizu *et al.*, 2002; Sun *et al.*, 2002; Ramesh *et al.*, 2004).

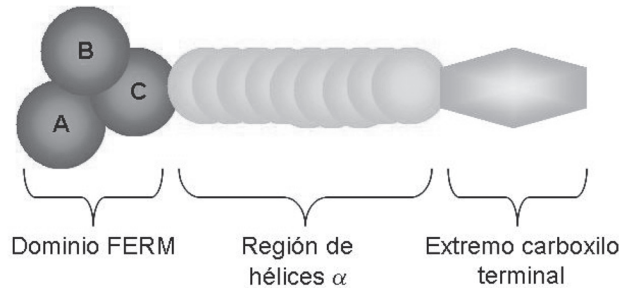
### Mecanismo de acción de merlina

Merlina parece intervenir claramente en la regulación del crecimiento y la proliferación celular, sin embargo, no es su única función, ya que se ha demostrado que merlina interactúa con numerosas proteínas (Fig. 3C), sugiriendo su participación en diversos procesos celulares, tales como motilidad celular y distintos procesos de señalización (Curto y McClatchey, 2008). Además, merlina es fundamental durante el desarrollo embrionario y en la diferenciación de tejidos, ya que experimentos realizados en ratones demuestran que la inactivación total del gen *NF2* lleva a letalidad embrionaria entre los días seis y siete de gestación (McClatchey *et al.*, 1997; McCartney *et al.*, 2000). La molécula de merlina carece de un dominio catalítico, y para cumplir con su función supresora de tumores, esta debe ser capaz de formar dos interacciones intramoleculares que involucran auto-plegamientos de la molécula (para más detalle vea el apartado de Regulación de merlina). La primera interacción involucra la unión del extremo amino al extremo carboxilo y la segunda consiste en un auto-plegamiento del extremo amino que estabiliza la interacción amino-carboxilo (Stamenkovic y Yu, 2010) (Fig.

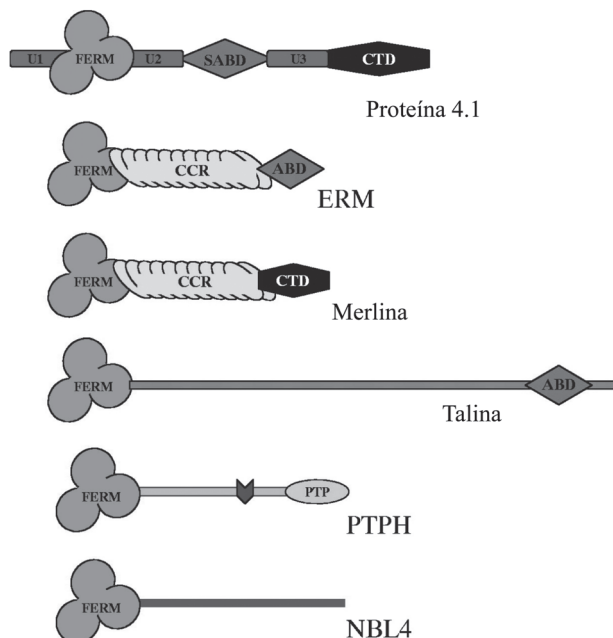
3B). La formación de complejos intramoleculares de merlina no es suficiente para explicar su función supresora de tumores, pero la correcta localización de merlina en la membrana plasmática depende directamente del auto-plegamiento del extremo amino (Gutmann *et al.*, 1999; Brault *et al.*, 2001). El análisis genético de muestras de pacientes con *NF2* demostró que las deleciones en el N-terminal del dominio FERM de merlina ocurren frecuentemente y están relacionadas con la detección precoz y mal diagnóstico del tumor (Rouleau *et al.*, 1993; Koga *et al.*, 1998; Johnson *et al.*, 2002). La sobreexpresión de múltiples mutantes de merlina, además, fue causa de excesiva proliferación de las células epiteliales de la mosca *Drosophila* a través de la interferencia de la actividad endógena de merlina nativa (LaJeunesse *et al.*, 1998; Stamenkovic y Yu, 2010). La búsqueda de correlaciones entre genotipo y fenotipo ha puesto de manifiesto un vínculo entre las mutaciones que generan un producto de la *NF2* truncada y la severidad de la enfermedad (Parry *et al.*, 1996; Rutledge *et al.*, 1996). Las mutaciones de tipo puntual han sido analizadas entre el 34-66% de los pacientes con *NF2* (Zucherman-Rossi *et al.*, 1998). Las interacciones descritas dan lugar a la posibilidad de que esta proteína funcione como un integrador molecular, es decir, que la formación de estos complejos intramoleculares pueda tener como objetivo la interacción de merlina con otras proteínas que potencialmente pueden actuar como efectoras de la señal reguladora del crecimiento celular. Se ha descubierto que ciertas mutaciones impiden el auto-plegamiento del extremo amino. Merlina fue la primera proteína codificada por un gen supresor de tumores que se encontró ubicada en la membrana plasmática, específicamente en regiones especializadas, conocidas como micro-dominios de membrana (Stickney *et al.*, 2004). Merlina actúa desde estas regiones celulares, e incluso, la interacción con lípidos específicos podría modular su actividad supresora de la proliferación celular.



**Figura 1. Estructura general de merlina.** El dominio FERM tiene 3 subdominios, seguido por una región de hélices  $\alpha$  y un extremo carboxilo terminal (Adaptado con permiso de [Sun et al. J. Cell. Sci. 2002; 115:3991-4000](#)).



**Figura 2. Estructura de los dominios de la superfamilia Proteína 4.1.** La característica común de los miembros de esta familia es la alta homología del dominio FERM N-terminal. El grado de similitud de los dominios FERM comparados con el del miembro base de esta superfamilia, la Proteína 4.1 son del siguiente modo: La proteína 4.1N, el 71%; Proteínas 4.1G, 74%; Proteína 4.1B, el 73%; Ezrina/moesina /radixina, del 24-32%; Merlina, el 28%; Talina, el 20%; PTPH, el 37%; y NBL4, el 40%. Merlina es estructuralmente similar a las proteínas ERM y estas cuatro proteínas constituyen la subfamilia de ERM. Los dominios que aparecen como prototipo de la proteína de 4.1 se encuentran conservados entre los miembros de la subfamilia de proteínas 4.1. Talina, PTPH y las proteínas NBL4 se muestran como una comparación. ABD (dominio de unión a actina), CCR (predicciones de la región hélice- $\alpha$ ), CTD (dominio carboxilo terminal); FERM (dominio Ezrin-radixina-moesina de la proteína 4.1); PTP (proteína tirosina fosfatasa), SABD (dominio de unión espectrina-actina); U1, 2, 3 (regiones únicas). (Adaptado con permiso de [Sun et al. J. Cell. Sci. 2002; 115:3991-4000](#)).



## Merlina y la organización del citoesqueleto

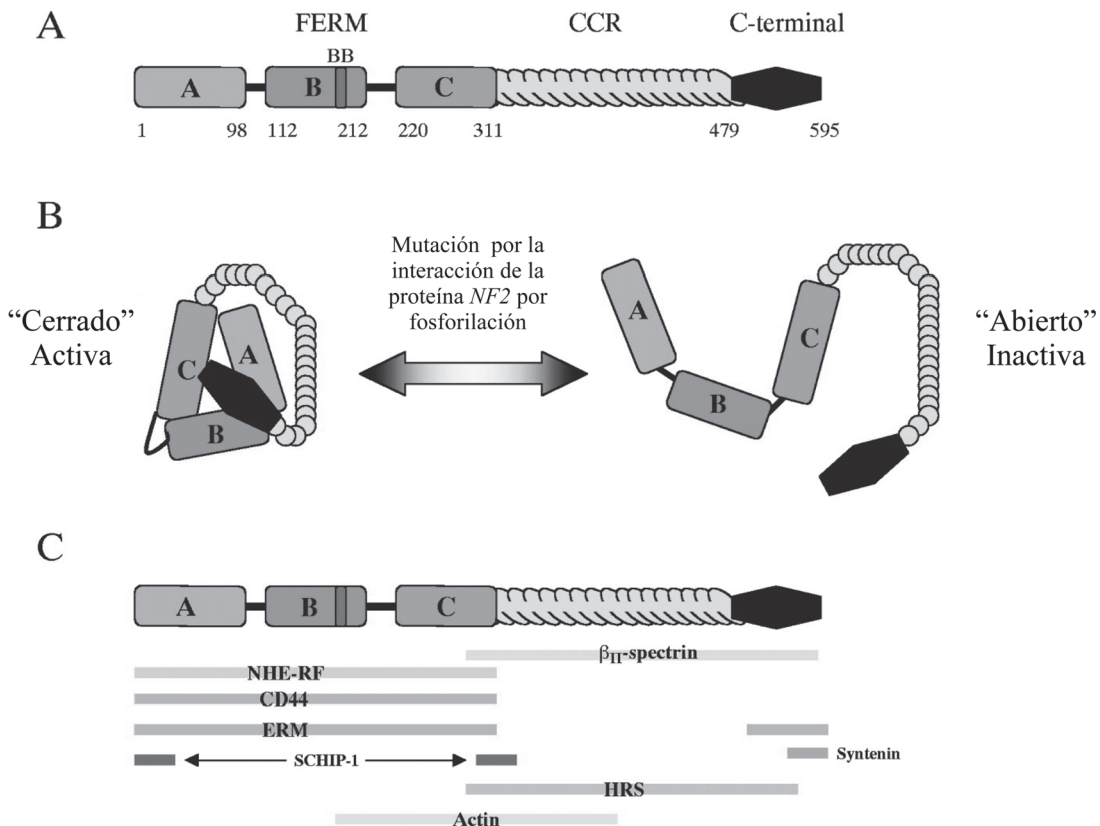
Merlina interactúa con el citoesqueleto de actina, lo que sugiere que también tiene un papel determinante en la morfología celular (Fig. 3C). Las células de schwannomas carentes del gen *NF2* muestran alteraciones en la organización del citoesqueleto de actina, y se ha demostrado que merlina se localiza principalmente en las áreas de remodelación membranal y en rugosidades celulares, donde también se localiza la actina (Xu y Gonzalez *et al.*, 1996; Gutmann, 1998; Pelton *et al.*, 1998). Adicionalmente, se ha encontrado que merlina interactúa selectivamente con actina en su forma soluble (G-actina) y no con la forma polimérica (F-actina), lo que sugiere que merlina pudiera tener un papel en la regulación de la polimerización y estabilización de los microfilamentos (James *et al.*, 2001). Esta noción es apoyada por otro estudio en el que se encontró la interacción de merlina con la proteína N-WASP, cuya función consiste en promover el ensamblaje de los microfilamentos de actina. Además de asociarse con los microfilamentos de actina, merlina interactúa también con los microtúbulos (Miki *et al.*, 1998; Manchanda *et al.*, 2005). Los microtúbulos son componentes indispensables del citoesqueleto y participan en una gran variedad de funciones celulares, incluyendo: división celular, motilidad, diferenciación, tráfico vesicular, determinación de la morfología celular, entre otros. Aunque en un principio la interacción de merlina con los microtúbulos solo se había demostrado *in vitro*, en años recientes diversos estudios proporcionaron evidencia sobre la existencia de esta interacción *in vivo* (Xu y Gutmann, 1998; Stokowski *et al.*, 2000). Dos estudios que utilizaron líneas celulares derivadas de tumores gliales demostraron que merlina se co-localiza con los microtúbulos, además de que merlina parece tener una función directa en la regulación del ensamblaje de los microtúbulos (Muranen *et al.*, 2005; Muranen *et al.*, 2007). Un estudio por MacDougall y colaboradores (MacDougall

*et al.*, 2001) demostró que ciertas mutaciones en el gen que codifica para la merlina en *Drosophila* provocan la desorganización de los microtúbulos. Además, dos estudios que utilizaron líneas celulares derivadas de tumores gliales demostraron que merlina se co-localiza con los microtúbulos, además de que merlina parece tener una función directa en la regulación del ensamblaje de los microtúbulos (Muranen *et al.*, 2005; Muranen *et al.*, 2007).

Merlina también interactúa con paxilina, una proteína adaptadora del citoesqueleto que funciona como un punto de convergencia para distintas señales dependientes de factores de

crecimiento, y se encarga de asociar estas señales con moléculas capaces de efectuar cambios en el citoesqueleto de actina. Merlina se asocia directamente con paxilina mediante dos dominios de unión a paxilina (PBD). El primer PBD es codificado por el exón 2 y se encuentra en el dominio FERM de merlina. El segundo PBD es codificado por los exones 12 y 13 y se localiza en el extremo C-terminal de la proteína. Se han reportado mutaciones en los exones codificadores de los PBD de merlina que están asociadas a NF2, y estas mutaciones impiden la asociación directa de merlina a paxilina, por lo que esta interacción es crucial para que merlina cumpla con sus funciones.

**Figura 3. Estructura e interacciones de merlina.** (A) Merlina contiene tres dominios de interacciones conservadas proteína-proteína: el dominio FERM que es su región N-terminal (CTD) y C-terminal están separadas por una horquilla de hélice- $\alpha$ . El estudio cristalográfico evidenció que el dominio FERM de merlina contiene tres subdominios que a su vez muestran una configuración de tipo trébol. El dominio FERM de merlina contiene una única «caja azul» (blue box, [BB]) residuos 177-183) en comparación a otras proteínas ERM. (B) Merlina puede adoptar dos conformaciones: una *cerrada-activa* y una *abierto-inactiva*. Merlina puede activar estas dos conformaciones como un resultado de la fosforilación, la unión de lípidos o por la interacción de proteínas de mutaciones de NF2. (C). Merlina interactúa con gran cantidad de moléculas incluyendo NHE-RF, espectrina- $\beta$ II ( $\beta$ II-spectrin), CD44, otras proteínas ERM, SCHIP-1, HRS, actina y sintetina (actin, syntetin), las cuales podrían afectar las funciones de merlina como un supresor del crecimiento (Adaptado con permiso de Sun *et al.* J. Cell. Sci. 2002; 115:3991-4000).



Paxilina determina la localización de merlina en la membrana plasmática, lo que facilita la interacción de merlina con algunas glucoproteínas de la membrana plasmática como  $\beta 1$ -integrina, la cual pertenece a un grupo de moléculas de estructura heterodimérica que actúan como receptores de adhesión celular. Con la intervención de paxilina, merlina puede formar complejos con  $\beta 1$ -integrina, participando así en la regulación de la proliferación y motilidad celular. Además, merlina puede interactuar con los microfilamentos de actina a través de otras interacciones proteicas con otras moléculas como  $\beta$ II-espectrina e incluso interactuado con otras proteínas ERM como Ezrina (Aplin *et al.*, 1998; Obremski *et al.*, 1998; Scoles *et al.*, 1998; Gronholm *et al.*, 1999; Turner, 2000; Fernandez-Valle *et al.*, 2002).

La organización del citoesqueleto requiere de un intercambio iónico a través de la membrana plasmática, mismo que es llevado a cabo por el intercambiador  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  (INH). Este intercambiador es una glucoproteína de la membrana plasmática que se expresa ampliamente en diversos tipos celulares y se encarga de regular el pH intracelular, removiendo  $\text{H}^+$  del citoplasma e intercambiándolo por  $\text{Na}^+$  que obtiene del espacio extracelular. Además de prevenir la acidificación del interior celular, el INH también participa en procesos de apoptosis, proliferación y diferenciación celular (Counillon *et al.*, 2000; Bullis *et al.*, 2002). Las proteínas ERM influyen en el funcionamiento del INH, ya que este es capaz de interactuar con las proteínas ERM, mismas que se unen al intercambiador con el citoesqueleto de actina con el fin de regular la morfología celular y de participar en procesos de adhesión y motilidad. Una de las consecuencias de la apoptosis es la pérdida de tamaño en las células, por lo que el INH, mediante el intercambio iónico participa también en la resistencia a apoptosis, convirtiéndose en un factor crítico para la sobrevivencia de la célula (Bortner y Cidlowski, 2002; Wu *et al.*, 2004). En otro hallazgo relacionado, un estudio anterior demostró que el cofactor regulador del intercambiador  $\text{Na}^+/\text{H}^+$

(CR-INH), el cual es una proteína citoplásmica, interactúa directamente con merlina y con las proteínas ERM. Este cofactor se une al intercambiador y regula su actividad a través de la proteína quinasa A (Murthy *et al.*, 1998). Otro estudio demostró que la interacción entre el CR-INH y merlina no es siempre posible, debido a los plegamientos intramoleculares que sufre merlina, mismos que enmascaran el sitio de unión al cofactor (Gonzalez-Agosti *et al.*, 1999).

### Interacción de merlina con diversas cascadas de señalización

Al igual que las demás proteínas ERM, merlina puede interactuar con la cola citoplásmica de CD44 (Fig. 3C), una glucoproteína transmembranal que funciona como receptor del ácido hialurónico, que es a su vez un glucosaminoglucano de alto peso molecular muy abundante en la matriz extracelular (Tsukita *et al.*, 1994; Sainio *et al.*, 1997; Stern, 2003). CD44 juega un papel fundamental en diversos procesos celulares, incluyendo adhesión, migración, invasión y sobrevivencia celular. Merlina regula la inhibición por contacto de la proliferación celular en respuesta al ácido hialurónico a través de su interacción con CD44. Aún cuando CD44 es codificada por un solo gen, existen múltiples isoformas de esta glucoproteína como resultado del empalme alternativo, y ciertas isoformas están relacionadas con un fenotipo canceroso. Es posible que CD44 forme complejos con merlina y otras proteínas ERM para funcionar como un interruptor, existiendo en dos modalidades, una que permite el crecimiento celular y otra que lo suprime (Hunter, 1997; Morrison *et al.*, 2001; Cichi y Pure, 2003; McClatchey y Giovannini, 2005).

Merlina también está implicada en la cascada de señalización del factor de crecimiento del hepatocito (HGF) (Krasnoselsky *et al.*, 1994). Esto al interactuar con una proteína conocida como sustrato de tirosina quinasa regulado por el factor de crecimiento del hepatocito (HRS). HRS es una proteína de 115 kDa que se

localiza cerca de los endosomas y juega un papel determinante en el tráfico endosomal y en las vías celulares de degradación, además de ser el blanco de fosforilación de diversos receptores, como C-met, que es el receptor del HGF. El HGF promueve la motilidad celular y es un mitógeno muy potente para las células de Schwann, que son las responsables de la formación de schwannomas, uno de los tumores típicos en pacientes con NF2. Estas evidencias convierten a HRS en un candidato que pudiera funcionar como efector de merlina (Raiborg and Stenmark, 2002; Scoles *et al.*, 2002; Clague y Urbe, 2001). HRS interactúa con la forma abierta de merlina en una región específica del extremo carboxilo de merlina. Además, la sobre-expresión de HRS en células de schwannomas provoca una disminución en la proliferación y motilidad celular (Gutmann *et al.*, 2001). Otro estudio demuestra que la función supresora del crecimiento celular por merlina es nulificada en células carentes de la expresión de HRS; sin embargo, esta molécula puede inhibir el crecimiento celular en ausencia de merlina (Sun *et al.*, 2002b). En células de schwannomas se ha demostrado que tanto merlina como HRS inhiben la activación de los transductores de señales y activadores de la transcripción (Scoles *et al.*, 2002). En conjunto, estos resultados demuestran que la interacción merlina-HRS es fundamental para que merlina pueda cumplir con su función supresora de tumores.

Merlina también participa en mecanismos de señalización celular asociados a GTPasas de tipo Rho. Este tipo de GTPasas unen nucleótidos de guanina (GTP y GDP) y alternan entre una forma activa e inactiva hidrolizando el GTP a GDP. Las GTPasas tipo Rho requieren de la adición a su estructura de lípidos isoprenoides, fenómeno que es crítico para que la GTPasa se ubique en el lugar apropiado e interactúe con biomembranas específicas. Esto se realiza a través de una interacción con un inhibidor de disociación de nucleótidos de guanina (GDI), que permite a la GTPasa permanecer soluble en el citosol (Paduch *et al.*, 2001). Entre las funciones

de este grupo de GTPasas se encuentra la regulación del crecimiento celular, tráfico de membranas, regulación de la expresión génica y reorganización del citoesqueleto de actina en respuesta a señales extracelulares (Takai *et al.*, 2001). Los miembros más conocidos de este conjunto de proteínas son Rho, Rac y Cdc42. Los primeros indicios de la participación de merlina en procesos celulares asociados a GTPasas tipo Rho fueron proporcionados por la presencia de anomalías citoesqueléticas en schwannomas, mismas que pueden ser revertidas por la acción de las GTPasas Rac y Rho (Pelton *et al.*, 1998). Se ha descrito que merlina funciona como un regulador de la vía de señalización Rho/Cdc42. Esto debido a que la asociación de merlina con el citoesqueleto disminuye considerablemente en células que expresan formas activas de Rac. Otro estudio apoya esta idea al demostrar un aumento en la activación de Rac en células de schwannomas, junto con la correspondiente activación de sus efectores «corriente abajo» en esta cascada de señalización (Shaw *et al.*, 2001; Kaempchen *et al.*, 2003).

Merlina es fosforilada y activada por la quinasa activada por p21 (PAK) en respuesta a la activación de las GTPasas Rac y Cdc42. PAK es un blanco común de estas dos GTPasas (Xiao *et al.*, 2002). Cabe mencionar que merlina también regula la inhibición por contacto del crecimiento celular al inhibir la translocación de Rac hacia la membrana plasmática, proceso que inhibe el crecimiento celular (Okada *et al.*, 2005).

Merlina parece tener un papel fundamental en la regulación de la actividad de Ras. Así lo demuestra un estudio donde la expresión de merlina es capaz de revertir el fenotipo maligno inducido por Ras y restaurar la inhibición por contacto del crecimiento celular (Tikoo *et al.*, 1994). Un estudio más reciente clarificó un poco más acerca de esta acción de merlina sobre Ras, al demostrar que merlina inhibe el crecimiento celular acelerado promovido por Ras de tres formas. La primera de estas rutas consiste en atenuar la fosforilación de Rb



(proteína retinoblastoma), que en su forma desfosforilada actúa secuestrando proteínas estimuladoras de la expresión génica. La segunda ruta consiste en detener el avance del ciclo celular al disminuir los niveles de ciclina D1, y la última consiste en la inhibición de la expresión de genes específicos al inactivar a sus correspondientes factores de transcripción. Otra función de merlina relacionada con Ras es la regulación negativa de la transcripción de genes específicos mediante la inhibición de la vía de señalización de Ras (Alberts *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2002; Lim *et al.*, 2003). En otro estudio se demostró que merlina puede influenciar la transducción de señales vía Ras y Rac, en un proceso que también involucra otras proteínas ERM (Morrison *et al.*, 2007).

Merlina también está implicada en la vía de señalización de la fosfatidilinositol-3 quinasa (PI3-K). Esto ocurre mediante la interacción de merlina con una GTPasa específica del cerebro conocida como PIKE (estimulador de la PI3-K), que funciona aumentando la actividad quinasa de PI3-K. Merlina se une a PIKE y evita la interacción con PI3-K, lo que nulifica el efecto estimulador de PIKE sobre la actividad de PI3-K. Además, ciertas formas mutantes de merlina son incapaces de interactuar con PIKE, por lo que la actividad de PI3-K permanece intacta. Estas evidencias sugieren que la GTPasa PIKE es fundamental para el correcto funcionamiento de merlina (Ye *et al.*, 2002; Rong *et al.*, 2004).

### Otras interacciones de merlina

En adición a las interacciones ya descritas, se han identificado otras moléculas con las cuales interactúa merlina, entre las que se encuentran SIP (del inglés *Schwannomin Interacting Protein*), que interactúa con merlina *in vivo* e *in vitro* (Goutebroze *et al.*, 2000). Al igual que merlina, SIP se localiza cerca de la membrana plasmática. Aunque el significado de esta interacción no se conoce con certeza, es probable que ciertas modificaciones post-traduccionales, el empalme alternativo e inclusive mutaciones, sean responsables de esta interacción.

Otra molécula con la que interactúa merlina se conoce como PAM (Proteína Asociada a Merlina). Esta proteína está constituida por 749 aminoácidos y su localización subcelular coincide con la de merlina, aunado a que ambas proteínas interactúan directamente en células de mamíferos. A pesar de que el mecanismo preciso de la interacción merlina-PAM no ha sido esclarecido, es probable que PAM funcione como un efector de merlina en la regulación de la tumorigénesis (Lee *et al.*, 2004).

Sintenina es otra proteína que interactúa con merlina (Fig. 3C). Sintenina es una molécula capaz de reconocer los dominios citoplásmicos de los sindecanos. Los sindecanos son proteoglicanos trans-membranales que participan en procesos de adhesión celular, en donde también actúan como receptores de diversas moléculas, entre las que se encuentran factores de crecimiento y proteínas de la matriz extracelular. Sintenina funciona como un adaptador entre el citoesqueleto y los sindecanos, y además, está involucrada en el control del tráfico vesicular. La isoforma 1 de merlina interactúa directamente con sintenina, lo que sugiere una participación de merlina en la formación de complejos citoesqueléticos y en el transporte vesicular intracelular, afectando de esta forma el crecimiento y la adhesión celular (Fialka *et al.*, 1999; Jannatipour *et al.*, 2001; Bass y Humphries, 2002).

Otra proteína que interactúa con merlina es magicina, la cual ha mostrado su interacción tanto *in vivo* como *in vitro*. Al igual que merlina, magicina se ubica bajo la membrana plasmática, e interactúa también con los microfilamentos de actina. Por otra parte, magicina también interactúa con Grb2 (receptor de factor de crecimiento que se enlaza a proteína), una proteína adaptadora que influye sobre la actina del citoesqueleto en respuesta a ciertas señales. De manera que al interactuar con Grb2 y con merlina, magicina involucra a merlina en procesos dependientes de receptores de membrana y apoya la idea de la participación de merlina en la organización de

los componentes del citoesqueleto (Carrier *et al.*, 2000; Wiederhold *et al.*, 2004).

Aunque la frecuencia con que se malignizan los tumores de la NF2 es baja, los mecanismos que llevan a la transformación maligna son hasta la fecha pobremente comprendidos. La pérdida en la adhesión de células tumorales es un paso crítico en la carcinogénesis y en la metástasis. Las cadherinas son proteínas de la superficie celular que participan en las interacciones célula-célula. En ciertos tipos de cáncer, existen alteraciones en la expresión de las cadherinas. Se ha descrito que merlina participa en procesos de adhesión celular, interactuando con componentes de las uniones adherentes, como las cadherinas (Scoles *et al.*, 1998; Lallemand *et al.*, 2003). También se ha descubierto que merlina estabiliza la conformación final de las uniones adherentes y favorece la inhibición por contacto del crecimiento celular, por lo que es de esperarse que la pérdida de la expresión de merlina favorezca la tumorigénesis y la metástasis (Flaiz *et al.*, 2008).

En la actualidad se sabe que existen conexiones entre el ciclo celular y los procesos de tumorigénesis y carcinogénesis. En el caso de NF2, se ha demostrado que merlina inhibe la proliferación celular y detiene el avance del ciclo celular en G<sub>1</sub>. Esto como resultado de una reducción en la expresión de ciclina D1 y una disminución en la actividad de la quinasa dependiente de ciclina 4 (CDK4). El efecto inhibitorio de merlina sobre la proliferación celular es revertido por la re-introducción de ciclina D1 a la célula. Las ciclinas y las CDK son proteínas indispensables para la regulación del ciclo celular, e incluso se han encontrado mutaciones que inactivan estas proteínas en distintos tipos de tumores malignos, por lo que merlina podría ejercer su función supresora de tumores actuando directamente sobre reguladores del ciclo celular (Sherr, 1996; Yamasaki y Pagano, 2004; Xiao *et al.*, 2005).

### Regulación de merlina

La fosforilación de merlina, es una modificación post-traducciona que parece tener

un papel fundamental en el funcionamiento de esta proteína. Se ha reportado que las proteínas ERM (incluyendo a merlina) pueden formar interacciones intramoleculares o auto-plegamientos (Figs. 2 y 3A-C). Estos plegamientos pueden ser afectados por interacciones con otras moléculas, por mutaciones o por fosforilación. En un estado hipofosforilado, las proteínas ERM adoptan una conformación cerrada, mientras que su fosforilación induce la apertura de la molécula. Mediante esta serie de plegamientos, las proteínas ERM se alternan entre dos estados y enmascaran sitios de interacciones potenciales con otras proteínas que pueden ejercer diversas señales relacionadas con la organización del citoesqueleto, inclusive, la forma hipofosforilada de merlina está asociada al contrarresto del crecimiento celular (Gary y Bretscher, 1995; Magendantz *et al.*, 1995; Hirao *et al.*, 1996; Shaw *et al.*, 1998; Pearson *et al.*, 2000). La fosforilación de merlina por PAK en el residuo específico de serina 518 (S518) produce efectos sobre la localización subcelular de merlina (Kissil *et al.*, 2002). Además, se ha demostrado que la fosforilación de merlina en S518 impide el auto-plegamiento de la molécula, lo que a su vez impide que merlina interactúe con CD44 y HRS, dos proteínas indispensables para el correcto funcionamiento de merlina (Rong *et al.*, 2004). Otro estudio donde se utilizaron células de schwannomas que expresaban formas mutantes de merlina permitió demostrar que la fosforilación de merlina en S518 impide a merlina ejercer su función supresora del crecimiento celular e induce cambios en la morfología celular, lo que indica que la fosforilación de merlina es un parámetro crítico en su funcionamiento (Surace *et al.*, 2004). Recientemente se descubrió que la fosforilación de merlina en un residuo de serina del extremo amino terminal parece influenciar la organización del citoesqueleto de actina, provocando cambios en la morfología celular (Laulajainen *et al.*, 2008).

La fosforilación de merlina tiene también implicaciones en la regulación de la cascada

de señalización de Ras, ya que la fosforilación de merlina en S518 inactiva el efecto inhibitorio de merlina sobre esta vía de señalización (Jung *et al.*, 2005). Además, otro estudio indica que los residuos treonina-230 y serina-315 son blancos de fosforilación por la quinasa Akt. Aunque el significado de esta modificación no ha sido descifrada por completo, aparentemente afecta la actividad supresora del crecimiento de merlina (Tang *et al.*, 2007; Ye, 2007).

Otro mecanismo asociado con la regulación de la actividad de merlina es la vía de degradación proteica de la ubiquitina-proteosoma. Este mecanismo proteolítico funciona marcando a las proteínas mediante la adición de ubiquitina para que posteriormente sean degradadas por el proteosoma (Ciechanover *et al.*, 2000). Los niveles de merlina en tumores asociados a NF2, son considerablemente bajos, lo que impide la detección de la proteína aún en formas truncadas (Gutmann *et al.*, 1997; Stemmer-Rachamimov *et al.*, 1997). Esto indica que las formas mutantes de merlina son rápidamente degradadas en la célula. En células de Schwann transfectadas, las formas mutadas de merlina son degradadas rápidamente por la vía ubiquitina-proteosoma (Gautreau *et al.*, 2002). Además, utilizando una serie de cultivos primarios tumorales derivados del sistema nervioso, se ha descubierto que la fosforilación de merlina por Akt va seguida por ubiquitinación y la subsecuente degradación por el complejo del proteosoma (Huang y Wang, 2001). Esto indica que la proteólisis de las formas mutantes de merlina es un mecanismo fisiológico mediante el cual la célula se deshace de proteínas carentes de funcionalidad, lo que podría también contribuir al desarrollo tumoral y además hace imposible la detección de merlina en células tumorales.

Otro mecanismo proteolítico asociado con la degradación y regulación de merlina se relaciona con una proteasa conocida como calpaína (Kimura *et al.*, 2000). Son enzimas cisteína proteasas citosólicas que dependen de  $Ca^{2+}$  para cumplir con su función proteolítica. Aunque las funciones de calpaína no han sido descifradas por completo, se ha ligado a esta

proteasa con procesos asociados a señales de  $Ca^{2+}$ , control de la proliferación celular y apoptosis. La actividad aberrante de esta proteasa está asociada a ciertos estados patológicos, incluyendo la metástasis y la degeneración neuronal (Huang y Wang, 2001; Suzuki *et al.*, 2004). Los primeros estudios arrojaron evidencias indicando que la degradación de merlina mediadas por  $\mu$ - y m-calpaínas en schwannomas y meningiomas podría tener un papel importante en relación con la pérdida de la expresión de merlina y el aumento del crecimiento celular (Kimura *et al.*, 1998; Kimura *et al.*, 2000). Sin embargo, otros estudios no pudieron demostrar una relación entre la actividad proteolítica de calpaína y los niveles de merlina (Ueki *et al.*, 1999; Evans *et al.*, 2001). De manera que al igual que la vía ubiquitina-proteosoma, la acción de calpaína sobre merlina parece tener una función en la regulación de la actividad celular de merlina, pero no parece contribuir directamente al desarrollo tumoral. Recientemente se ha demostrado que distintos residuos del C-terminal de merlina regulan su actividad morfogénica y supresora de tumores con sobrelapamientos (Lulajainen *et al.*, 2012), donde se caracterizó el papel de los residuos que juegan un papel de importancia sobre la regulación y proliferación celular, en la organización de citoesqueleto, la fosforilación y las asociaciones intermoleculares. Ello se realizó mediante dos isoformas completas de merlina y truncando mutaciones encontradas en pacientes. Ellos se enfocaron en la región de los residuos 545-547 del C-terminal, que es evolutivamente conservada, donde también se albergan mutaciones que causan la enfermedad, demostrando que merlina induce extensiones celulares, resultantes del deterioro de la retracción de salientes en lugar de una mayor formación de filopodios. Los residuos 538-568 fueron particularmente importantes para la actividad morfogénica. Este trabajo concluye que el C-terminal contiene distintos dominios funcionales que regulan por sobrelapamiento la actividad morfogénica, asociaciones intermoleculares y la proliferación celular.

## Conclusiones

La NF2 es un padecimiento que involucra alteraciones en la función de un gen supresor de tumores. La ubicación de merlina en la interfase entre la membrana plasmática y el citoesqueleto es única para un supresor de tumores, y aunque las evidencias indican que merlina actúa en diversas vías de señalización y en la organización del citoesqueleto, los mecanismos moleculares subyacentes en esta enfermedad son enormemente complejos y no han sido totalmente explicados.

Aún cuando la simple pérdida de la expresión de merlina no parece ser suficiente para explicar el espectro de alteraciones presentes en la NF2, el gran número de proteínas que interactúan con merlina indica que su ausencia tiene un efecto en las diversas vías celulares de señalización discutidas en esta revisión, lo que en suma, podría explicar el proceso de tumorigénesis. Ejemplo de ello son las evidencias que indican que merlina tiene una participación crítica en la regulación de la organización del citoesqueleto. Si se considera que las células tumorales poseen una organización citoesquelética aberrante, la pérdida de la expresión de merlina podría contribuir de manera significativa en el desarrollo tumoral. Los resultados de las investigaciones revisadas en este trabajo muestran que la actividad de merlina es sujeta a regulación mediante un par de modificaciones post-traduccionales: fosforilación y ubiquitinación. El descubrimiento de estas modificaciones en merlina contribuye indudablemente a comprender de mejor manera la función de merlina, pero al mismo tiempo la ocurrencia de estas modificaciones agrega un mayor nivel de complejidad al papel de merlina en el desarrollo tumoral, puesto que tanto la fosforilación como la ubiquitinación proporcionan una mayor versatilidad funcional a la proteína, lo que a su vez sugiere una participación aún más prominente en el control de la proliferación celular.

Los avances logrados hasta hoy han ampliado el panorama en relación con la función de merlina a nivel celular y molecular, y es evidente que los avances que puedan alcanzarse en los próximos años sin duda ayudarán a descifrar los mecanismos patológicos que conducen a la aparición de esta enfermedad y al diseño de un tratamiento no quirúrgico.

## Agradecimientos

Agradecemos al la Dra. Guadalupe Uribe del Centro Médico de Especialidades de Ciudad Juárez, Chih., México por su valiosa colaboración. Asimismo agradecemos al Departamento de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez por el apoyo logístico brindado para la realización de este trabajo. También agradecemos los valiosos comentarios de los revisores de nuestro trabajo. Agradecemos también a Sun *et al.* J. Cell. Sci. 2002; 115:3991-4000 por su colaboración en las figuras prestadas para este trabajo. Este trabajo fue apoyado en parte por el fondo mixto CONACYT CHIH-2006 C01-57268 (México).

## Literatura citada

- ALBERTS, B. J., A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, and P. Walter. 2002. *Molecular Biology of the cell*. Garland Publishing. New York. 1394p.
- APLIN, A. E., A. Howe, S. K. Alahari, and R. L. Juliano. 1998. Signal transduction and signal modulation by cell adhesion receptors: the role of integrins, cadherins, immunoglobulin-cell adhesion molecules and selectins. *Pharmacol. Rev.* 50:197-263.
- Bass, M. D., and M. J. Humphries. 2002. Cytoplasmic interactions of syndecan-4 orchestrate adhesion receptor and growth factor receptor signaling. *Biochem. J.* 368:1-15.
- BIANCHI, A. B., S. I. Mitsunaga, J. Q. Cheng, W. M. Klein, S. C. Jhanwar, and B. Seizinger. 1995. High frequency of inactivating mutations in the neurofibromatosis type 2 gene (NF2) in primary malignant mesotheliomas. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 92:10854-10858.
- BIANCHI, A., T. Hara, V. Ramesh, J. Gao, A. Klein, and F. Morin. 1994. Mutations in transcript isoforms of the neurofibromatosis 2 gene in multiple human tissue types. *Nature Genet.* 6:185-192.
- BORTNER, C. D., and J. A. Cidlowski. 2002. Apoptotic volume decrease and the incredible shrinking cell. *Cell Death Differ* 9:1307-1310.
- BRAULT, E., A. Gautreau, M. Lamarine, I. Callebaut, G. Thomas, and L. Goutebroze. 2001. Normal membrane localization and actin association of the NF2 tumor suppressor protein are dependent on folding of its N-terminal domain. *J. Cell Sci.* 114:1901-1912.




- BULLIS, B. L., X. Li, D. N. Singh, L. G. Berthiaume, and L. Fliegel. 2002. Properties of the Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> exchanger protein. Detergent-resistant aggregation and membrane microdistribution. *Eur. J. Biochem.* 269:4887-4895.
- CARLIER, M. F., P. Nioche, I. Broutin-L'Hermite, R. Boujemaa, C. Le Clainche, and Egile. 2000. GRB2 links signaling to actin assembly by enhancing interaction of neural Wiskott-Aldrich syndrome protein (N-WASP) with actin-related protein (ARP2/3) complex. *J. Biol. Chem.* 275:21946-21952.
- CHANG, L. S., E. M. Akhrametyeva, Y. Wu, L. Zhu, and D. B. Welling. 2002. Multiple transcription initiation sites, alternative splicing, and differential polyadenylation contribute to the complexity of human neurofibromatosis 2 transcripts. *Genomics.* 79:63-76.
- CHISHTI, A., A. Kim, S. Marfatia, M. Lutchman, M. Hanspal, and H. Jindal. 1998. The FERM domain: a unique module involved in the linkage of cytoplasmic proteins to the membrane. *Trends Biochem. Sci.* 23:281-282.
- CICHI, J., and E. Pure. 2003. The liberation of CD44. *J. Cell Biol.* 161:839-843.
- CIECHANOVER, A., A. Orian, and A. L. Schwartz. 2000. Ubiquitin-mediated proteolysis: biological regulation via destruction. *Bioessays* 22:442-451.
- CLAGUE, M. J., and S. Urbe. 2001. The interface of receptor trafficking and signalling. *J. Cell Sci.* 114:3075-3081.
- COUNILLON, L., and J. Pouyssegur. 2000. The expanding family of eucaryotic Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> exchangers. *J. Biol. Chem.* 275:1-4.
- DENBAKKER, M. A., M. Tascilar, P. H. Riegman, A. C. Hekman, W. Boersma, and P. J. Janssen. 1955. Neurofibromatosis type 2 protein co-localizes with elements of the cytoskeleton. *Am. J. Pathol.* 147:1339-1349.
- DESAI, A., and T. J. Mitchison. 1997. Microtubule polymerization dynamics. *Ann. Rev. Cell Dev. Biol.* 13:83-117.
- EVANS, D. G., M. Sainio, and M. E. Baser. 2000. Neurofibromatosis type 2. *J. Med. Genet.* 37:897-904.
- EVANS, D. G., S. M. Huson, D. Donnai, W. Neary, V. Blair, and V. Newton. 1992. A genetic study of type 2 neurofibromatosis in the United Kingdom. II. Guidelines for genetic counselling. *J. Med. Genet.* 29:847-852.
- EVANS, J., S. Jeun, J. Lee, J. Harwalkar, Y. Shoshan, J. Cowell, and M. Golubic. 2001. Molecular alterations in the neurofibromatosis type 2 gene and its protein rarely occurring in meningothelial meningiomas. *J. Neurosurg.* 94:111-117.
- EVANS, D. G. 2009. Neurofibromatosis type 2 (NF2): A clinical and molecular review. *Orphanet J. Rare.* 19:4-16.
- EVANS, G. R., S. K. Lloyd, and R. T. Ramsden. 2011. Neurofibromatosis type 2. *Adv. Otorhinolaryngol.* 70:91-98.
- FERNANDEZ-VALLE, C., Y. Tang, J. Ricard, A. Rodenas-Ruano, A., and Taylor, E. Hackler. 2002. Paxillin binds schwannomin and regulates its density-dependent localization and effect on cell morphology. *Nat. Genet.* 31:354-362.
- FIALKA, I., P. Steinlein, H. Ahorn, G. Bock, P. D. Burbelo, and M. Haberfellner. 1999. Identification of syntenin as a protein of the apical early endocytic compartment in Madin-Darby canine kidney cells. *J. Biol. Chem.* 274:26233-26239.
- FLAIZ, C., T. Utermark, D. B. Parkinson, A. Poetsch, and C. O. Hanemann. 2008. Impaired intercellular adhesion and immature adherens junctions in merlin-deficient human primary schwannoma cells. *Glia* 56:506-515.
- FRIEDMAN, J. M., D. H. Gutmann, M. MacCollin, and M. Riccardi. 1999. Neurofibromatosis: Phenotype, Natural History and Pathogenesis. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 380p.
- GARY, R., and A. Bretscher. 1995. Ezrin self-association involves binding of an N-terminal domain to a normally masked C-terminal domain that includes the F-actin binding site. *Mol. Biol. Cell* 6:1061-1075.
- GAUTREAU, A., J. Manent, B. Fievet, D. Louvard, M. Giovannini, and M. Arpin. 2002. Mutant products of the NF2 tumor suppressor gene are degraded by the ubiquitin-proteasome pathway. *J. Biol. Chem.* 277:31279-31282.
- GONZALEZ, C., L. Xu, D. Pinney, R. Beauchamp, W. Hobbs, and J. Gusella. 1996. The merlin tumor suppressor localizes preferentially in membrane ruffles. *Oncogene* 13:1239-1247.
- GONZALEZ-AGOSTI, C., T. Wiederhold, M. E. Herndon, J. Gusella, and V. Ramesh. 1999. Interdomain interaction of merlin isoforms and its influence on intermolecular binding to NHERF. *J. Biol. Chem.* 274:34438-34442.
- GOUTEBROZE, L., E. Brault, C. Muchardt, J. Camonis, and G. Thomas. 2000. Cloning and characterization of SCHIP-1, a novel protein interacting specifically with spliced isoforms and naturally occurring mutant NF2 proteins. *Mol. Cell Biol.* 20:1699-1712.
- GRONHOLM, M., M. Sainio, F. Zhao, L. Heiska, A. Vaheri, and O. Carpen. 1999. Homotypic and heterotypic interaction of the neurofibromatosis 2 tumor suppressor protein merlin and the ERM protein Ezrin. *J. Cell Sci.* 112:895-904.
- GUTMANN, D. H., C. A. Haipek, and K. H. Lu. 1999. Neurofibromatosis 2 tumor suppressor protein, merlin, forms two functionally important intramolecular associations. *J. Neurosci. Res.* 58:706-716.
- GUTMANN, D. H., C. A. Haipek, S. P. Burke, C. X. Sun, D. R. Scoles, and S. M. Pulst. 2001. The NF2 interactor, hepatocyte growth factor-regulated tyrosine kinase substrate (HRS), associates with merlin in the «open» conformation and suppresses cell growth and motility. *Hum. Mol. Genet.* 10:825-834.
- GUTMANN, D. H., M. Giordano, A. Fishback, and A. Guha. 1997. Loss of merlin expression in sporadic meningiomas, ependymomas and schwannomas. *Neurology* 49:267-270.
- HIRAO, M., N. Sato, T. Kondo, S. Yonemura, M. Monden, and T. Sasaki. 1996. Regulation mechanism of ERM (ezrin/radixin/moesin) protein/plasma membrane association: possible involvement of phosphatidylinositol turnover and Rho-dependent signaling pathway. *J. Cell Biol.* 135:37-51.
- HIRSCH, N. P., A. Murphy, and J. J. Radcliffe. 2001. Neurofibromatosis: clinical presentations and anaesthetic implications. *Br. J. Anaesth.* 86:555-564.
- HUANG, Y., and K. K. Wang. 2001. The calpain family and human disease. *Trends Mol. Med.* 7:355-362.
- HUNTER, T. 1997. Oncoprotein networks. *Cell* 88:333-346.
- JAMES, M. F., N. Manchanda, C. Gonzalez-Agosti, J. H. Hartwig, and V. Ramesh. 2001. The neurofibromatosis 2 protein product merlin selectively binds F-actin but not G-actin, and stabilizes the filaments through a lateral association. *Biochem. J.* 356:377-386.
- JANNATIPOUR, M., P. Dion, S. Khan, H. Jindal, X. Fan, and J. C. 2001. Laganieri. Schwannomin isoform-1 interacts with syntenin via PDZ domains. *J. Biol. Chem.* 276:33093-33100.
- JOHNSON, K. C., J. L. Kissil, J. L. Fry, and T. Jacks. 2002. Cellular transformation by a FERM domain mutant of the NF2 tumor suppressor gene. *Oncogene.* 39:5990-5997.
- JUNG, J. R., H. Kim, S. S. Jeun, J. Y. Lee, E. J. Koh, and C. Ji. 2005. The phosphorylation status of merlin is important for regulating the Ras-ERK pathway. *Mol. Cells* 20:196-200.
- KAEMPCHEN, K., K. Mielke, T. Utermark, S. Langmesser, and C. O. Hanemann. 2003. Upregulation of the Rac1/JNK signaling pathway in primary human schwannoma cells. *Hum. Mol. Genet.* 12:1211-1221.
- KIM, H., J. Y. Lim, Y. H. Kim, H. Kim, S. H. Park, S. H., and K. H. Lee. 2002. Inhibition of ras-mediated activator protein 1 activity and cell growth by merlin. *Mol. Cells* 14:108-114.

- KIMURA, Y., H. Koga, N. Araki, N. Mugita, N. Fujita, and H. Takeshima. 1998. The involvement of calpain-dependent proteolysis of the tumor suppressor NF2 (merlin) in schwannomas and meningiomas. *Nat. Med.* 4:915-922.
- KIMURA, Y., H. Saya, and M. Nakao. 2000. Calpain-dependent proteolysis of NF2 protein: involvement in schwannomas and meningiomas. *Neuropathology* 20:153-160.
- KISSIL, J. L., K. C. Jonson, M. S. Eckman, and T. Jacks. 2002. Merlin phosphorylation by p21-activated kinase 2 and effects of phosphorylation on merlin localization. *J. Biol. Chem.* 277:10394-10399.
- KNUDSON, A. G. 1971. Mutation and cancer: statistical study of retinoblastoma. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 68:820-823.
- KOGA, H., N. Araki, H. Takeshima, T. Nishi, T. Hirota, Y. Kimura, M. Nakao, and H. Saya. 1998. Impairment of cell adhesion by expression of the mutant neurofibromatosis type 2(NF2) genes which lack exons in the ERM-homology domain. *Oncogene*. 17:801-810.
- KORF, B. 2004. The phakomatoses. *Neuroimag. Clin. N. Am.* 14:139-148.
- KORF, B. R. 2005. The phakomatoses. *Clin. Dermatol.* 23:78-84.
- KRASNOSELSKY, A., M. J. Massay, M. C. DeFrances, G. Michalopoulos, R. Zarnegar, and N. Ratner. 1994. Hepatocyte growth factor is a mitogen for Schwann cells and is present in neurofibromas. *J. Neurosci.* 14:7284-7290.
- LAJENUSSE, D. R., B. M. McCartney, and R. G. Fehon. 1998. Structural analysis of Drosophila merlin reveals functional domains important for growth control and subcellular localization. *J. Cell Biol.* 141:1589-1599.
- LALLEMAND, D., M. Curto, I. Saotome, M. Giovannini, and A. I. McClatchey. 2003. NF2 deficiency promotes tumorigenesis and metastasis by destabilizing adherens junctions. *Genes Dev.* 17:1090-1100.
- LASOTA, J., J. F. Fetsch, A. Wozniak, B. Wasag, R. Sciort, and M. Miettinen. 2001. The neurofibromatosis type 2 gene is mutated in perineurial cell tumors: a molecular genetic study of eight cases. *Am. J. Pathol.* 158:1223-1229.
- LAULAJAINEN, M., T. Muranen, O. Carpén, and M. Grönholm. 2008. Protein kinase A-mediated phosphorylation of the NF2 tumor suppressor protein merlin at serine 10 affects the actin cytoskeleton. *Oncogene* 27:3233-3243.
- LAULAJAINEN, M., M. Melikova, T. Muranen, O. Carpén, and M. Grönholm. 2012. Distinct overlapping sequences at the carboxy-terminus of merlin regulate its tumor suppressor and morphogenic activity. *J. Cell Mol. Med.* DOI: 10.1111/j.1582-4934.2012.01525.x
- LEE, I. K., K. S. Kim, H. Kim, J. Y. Lee, C. H. Ryu, and H. J. Chun. 2004. MAP, a protein interacting with a tumor suppressor, merlin, through the run domain. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 325:774-783.
- LIM, J. Y., H. Kim, Y. H. Kim, S. W. Kim, P. W. Huh, and K. H. Lee. 2003. Merlin suppresses the SRE-dependent transcription by inhibiting the activation of Ras-ERK pathway. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 302:238-245.
- MACDOUGALL, N., Y. Lad, G. S. Wilkie, H. Francis-Lang, W. Sullivan, and I. Davis. 2001. Merlin, the Drosophila homologue of neurofibromatosis-2, is specifically required in posterior follicle cells for axis formation in the oocyte. *Development* 128: 665-673.
- MAGENDANTZ, M., M. D. Henry, A. Lander, and Solomon F. 1995. Interdomain interactions of radixin in vitro. *J. Biol. Chem.* 270:25324-25327.
- MANCHANDA, N., A. Lyubimova, H. Y. Ho, M. F. James, J. F. Gusella, N. Ramesh, S. B. Snapper, and V. Ramesh. 2005. The NF2 tumor suppressor Merlin and the ERM proteins interact with N-WASP and regulate its actin polymerization function. *J. Biol. Chem.* 280:12517-12522.
- MCCARTNEY, B., R. Kulikauskas, D. LaJeunesse, and R. Fehon. 2000. The NF-2 homologue, Merlin, and the tumor suppressor expanded function together in Drosophila to regulate cell proliferation and differentiation. *Development* 127:1315-1324.
- MCCATCHY, A. I., and M. Giovannini. 2005. Membrane organization and tumorigenesis—the NF2 tumor suppressor, Merlin. *Genes Dev.* 19:2265-2277.
- MCCATCHY, A., I. Saotome, V. Ramesg, J. Gusella, and T. Jacks. 1997. The Nf2 tumor suppressor gene product is essential for extraembryonic development immediately prior to gastrulation. *Genes Dev.* 11:1253-1265.
- MIKI, H., T. Sasaki, Y. Takai, T., and Takenawa. 1998. Induction of filopodium formation by a WASP-related actin-depolymerizing protein N-WASP. *Nature* 391:93-96.
- MORRISON, H., L. S. Sherman, J. Legg, F. Banine, C. Isacke, and C. A. Haippek. 2001. The NF2 tumor suppressor gene product, merlin, mediates contact inhibition of growth through interactions with CD44. *Genes Dev.* 15:968-980.
- MORRISON, H., T. Sperka, J. Manent, M. Giovannini, H. Ponta, and P. Herrlich. 2007. Merlin/neurofibromatosis type 2 suppresses growth by inhibiting the activation of Ras and Rac. *Cancer Res.* 67:520-527.
- MURANEN, T., M. Grönholm, A. Lampin, D. Lallemand, F. Zhao, M. Giovannini, and O. Carpén. 2007. The tumor suppressor merlin interacts with microtubules and modulates Schwann cell microtubule cytoskeleton. *Hum. Mol. Genet.* 16:1742-1751.
- MURANEN, T., M. Grönholm, G. H. Renkema, and Carpén O. 2005. Cell cycle-dependent nucleocytoplasmic shuttling of the neurofibromatosis 2 tumour suppressor merlin. *Oncogene* 24:1150-1158.
- MURTHY A, C. Gonzalez-Agosti, E. Cordero, D. Pinney, C. Candia, and F. Solomon. 1998. NHE-RF, a regulatory cofactor for Na(+)-H+ exchange, is a common interactor for merlin and ERM (MERM) proteins. *J. Biol. Chem.* 273:1273-1276.
- OBREMSKI, V. J., A. M. Hall, and C. Fernandez-Valle. 1998. Merlin, the neurofibromatosis type 2 gene product, and beta 1 integrin associate in isolated and differentiating Schwann cells. *Neurobiol.* 37:487-501.
- OKADA, T., M. Lopez-Lago, and F. G. Giancotti. 2005. Merlin/NF-2 mediates contact inhibition of growth by suppressing recruitment of Rac to the plasma membrane. *J. Cell Biol.* 171:361-371.
- PADUCH, M., F. Jelen, and J. Otlewski. 2001. Structure of small G proteins and their regulators. *Acta Biochim. Pol.* 48:829-850.
- PARRY, D. M., M. M. McCollin, M. I. Kaiser-Kupfer, K. Pulaski, H. S. Nicholson, M. Bolesta, R. Eldridge, and J. F. Gusella. 1996. Germ-line mutations in the neurofibromatosis 2 gene: correlations with disease severity and retinal abnormalities. *Am. J. Hum. Genet.* 59:529-539.
- PEARSON, M. A., D. Reczek, A. Bretscher, and P. A. Karplus. 2000. Structure of the ERM protein moesin reveals the FERM domain fold masked by an extended actin binding tail domain. *Cell* 101:259-270.
- PELTON, P. L., L. Sherman, T. Rizvi, M. Marchionni, P. Wood, and Friedman R. 1998. Ruffling membrane, stress fiber, cell spreading and proliferation abnormalities in human schwannoma cells. *Oncogene* 17:195-2209.
- PINEAU, P., A. Marchio, S. Nagamori, S. Seki, P. Tiollais, and A. Dejean. 2003. Homozygous deletion scanning in hepatobiliary tumor cell lines reveals alternative pathways for liver carcinogenesis. *Hepatology* 37:852-861.
- POYHONEN, M. 1999. Epidemiological, clinical and genetic aspects of neurofibromatosis in northern Finland. Finland: Oulu University Library. 69p.

- RAIBORG, C., and H. Stenmark. 2002. Hrs and endocytic sorting of ubiquitinated membrane proteins. *Cell Struct. Funct.* 27:403-408.
- RAMESH, V. 2004. Merlin and the ERM proteins in schwann cells, neurons and growth cones. *Nat. Rev. Neurosci.* 5:462-470.
- REED, N., and Gutmann, D. 2001. Tumorigenesis in neurofibromatosis: new insights and potential therapies. *Trends Mol. Med.* 7:157-162.
- RONG, R., E. I. Surace, C. A. Haipek, D. H. Gutmann, and K. Ye. 2004. Serine 518 phosphorylation modulates merlin intramolecular association and binding to critical effectors important for NF2 growth suppression. *Oncogene* 23:8447-8454.
- RONG, R., X. Tang, D. H. Gutmann, and K. Ye. 2004. Neurofibromatosis 2 (NF2) tumor supresor merlin inhibits phosphatidylinositol 3-kinase through binding to PIKE-L. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 101:18200-18205.
- ROULEASU, G. A., P. Merel, M. Lutchman, M. Sanson, J. Zucman, C. Marineau, K. Hoang-Xuan, S. Demczuk, C. Desmaze, B. Plougastel., et al. 1993. Alteration in a new gene encoding a putative membrane organizing protein causes Neurofibromatosis type 2. *Nature* 363:515-521.
- RUTTLEDGE, M. H., A. A. Andermann, C. M. Phelam, J. O. Claudio, F. Y. Han N. Chretien, S. Rangaratnam, M. MacCollin, P. Short, D. Parry, V. Michels, V. M. Riccardi, R. Weksberg, K. Kitamura, J. M. Bradburn, B. D. Hall, P. Propping, and G. A. Rouleau. 1996. Type of mutation in the neurofibromatosis type 2 gene (NF2) frequently determines severity of disease. *Am J Hum Genet.* 59:331-42.
- SAINIO, M. 2000. Neurofibromatosis 2: Genetic analysis of mild disease, and biology of the gene product, merlin. Helsinki: University of Helsinki. 52p.
- SAINIO, M., F. Zhao, L. Heiska, O. Turunen, M. den Bakker, and E. Zwarthoff. 1997. Neurofibromatosis 2 tumor suppressor protein colocalizes with ezrin and CD44 and associates with actin-containing cytoskeleton. *J. Cell. Sci.* 110:2249-2260.
- SCHMUKER, B., Y. Tang, and M. Kressel. 1999. Novel alternatively spliced isoforms of the neurofibromatosis type 2 tumor suppressor are targeted to the nucleus and cytoplasmic granules. *Hum. Mol. Genet.* 8:1561-1570.
- SCOLES, D. R., D. P. Huynh, M. S. Chen, S. P. Burke, D. H. Gutmann, and S. M. Pulst. 1998. Neurofibromatosis 2 tumor supresor schwannomin interacts with  $\beta$ II-spectrin. *Nat. Genet.* 18:354-359.
- SCOLES, D. R., D. P. Huynh, M. S. Chen, S. P. Burke, D. H. Gutmann, and S. M. Pulst. 2000. The neurofibromatosis 2 tumor suppressor protein interacts with hepatocyte growth factor-regulated tyrosine kinase substrate. *Hum. Mol. Genet.* 9:1567-1574.
- SCOLES, D. R., V. D. Nguyen, Y. Qin, C. X. Sun, H. Morrison, and D. H. Gutmann. 2002. Neurofibromatosis 2 (NF2) tumor suppressor schwannomin and its interacting protein HRS regulate STAT signaling. *Hum. Mol. Genet.* 11:3179-3189.
- SCOLES, D. R. 2008. The merlin interacting proteins reveal multiple targets for NF2 therapy. *Biochim. Biophys. Acta.* 1785, 32-54.
- SHAW, R. J., A. I. McClatchey, and T. Jacks. 1998. Regulation of the neurofibromatosis type 2 tumor suppressor protein, merlin, by adhesion and growth arrest stimuli. *J. Biol. Chem.* 273:7757-7764.
- SHAW, R. J., J. G. Paez, M. Curto, A. Yaktine, W. M. Pruitt, and I. Saotome. 2001. The Nf2 tumor suppressor, merlin, functions in Rac-dependent signaling. *Dev. Cell* 1: 63-72.
- SHEIK, H. A., M. Tometsko, L. Niehouse, D. Aldeeb, P. Swalsky, and S. Finkelstein. 2004. Molecular genotyping of medullary thyrroid carcinoma can predict tumor recurrence. *Am. J. Surg. Pathol.* 28:101-106.
- SHERR, C. J. 1996. Cancer cell cycles. *Science* 274:1672-1677.
- SHIMIZU, T., A. Seto, N. Maita, K. Hamada, S. Tsukita, and T. Hakoshima. 2002. Structural Basis for Neurofibromatosis type 2. Crystal structure of the Merlin FERM domain. *J. Biol. Chem.* 277:10332-10336.
- STAMENKOVIC, I., and Q. Yu. 2010. Merlin, a «Magic» Linker Between the Extracellular Cues and Intracellular Signaling Pathways that Regulate Cell Motility, Proliferation, and Survival. *Curr. Protein Pept. Sci.* 11:471-484.
- STEMMER-RACHAMIMOV, A. O., L. Xu, C. Gonzalez-Agosti, J. A. Burwick, D. Pinney, and R. Beauchamp. 1997. Universal absence of merlin, but not other ERM family members, in schwannomas. *Am. J. Pathol.* 151:1649-1654.
- STERN, R. 2003. Devising a pathway for hyaluronan catabolism: are we there yet? *Glycobiology* 13:105R-115R.
- STICKNEY, J. T., W. C. Bacon, M. Rojas, N. Ratner, and W. Ip. 2004. Activation of the tumor suppressor merlin modulates its interaction with lipid rafts. *Cancer Res.* 64:2717-2724
- STOKOWSKI, R. P., and R. D. Cox. 2000. Functional analysis of the neurofibromatosis type 2 protein by means of disease-causing point mutations. *Am. J. Hum. Genet.* 66:873-891.
- SUN, C. X., C. Haipek, D. R. Scoles, S. M. Pulst, M. Giovannini, and M. Komada. 2002b. Functional analysis of the relationship between the neurofibromatosis 2 tumor suppressor and its binding partner, hepatocyte growth factor-regulated tyrosine kinase substrate. *Hum. Mol. Genet.* 11:3167-3178.
- SUN, C., V. Robb, and D. Gutmann. 2002. Protein 4.1 tumor suppressors: getting a FERM grip on growth regulation. *J. Cell Sci.* 115:3991-4000.
- SURACE, E. I., C. A. Haipek, and D. H. Gutmann. 2004. Effect of merlin phosphorylation on neurofibromatosis 2 (NF2) gene function. *Oncogene* 23:580-587.
- SUZUKI, K., S. Hata, Y. Kawabata, and H. Sorimachi. 2004. Structure, activation, and biology of calpain. *Diabetes* 1:S12-S18.
- TAKAI, Y., T. Sasaki, and T. Matozaki. 2001. Small GTP-binding proteins. *Physiol. Rev.* 81:153-208.
- TANG, X., S. W. Jang, X. Wang, Z. Liu, S. M. Bahr, S. Y. Sun, D. Brat, D. H. Gutmann, and K. Ye. 2007. Akt phosphorylation regulates the tumour-suppressor merlin through ubiquitination and degradation. *Nat. Cell Biol.* 9:1199-1207.
- TIKOO, A., M. Varga, V. Ramesh, J. Gusella, and H. Maruta. 1994. An anti-Ras function of neurofibromatosis type 2 gene product (NF2/Merlin). *J. Biol. Chem.* 269: 23387-23390.
- TROFATTER, J., M. MacCollin, J. Rutter, J. Murrell, M. Duyao, and D. Parry. 1993. A novel moesin ezrin radixin like gene is a candidate for the neurofibromatosis 2 tumor suppressor. *Cell* 72:791-800.
- TSUKITA, S., K. Oishi, N. Sato, J. Sagara, A. Kawai, and S. Tsukita. 1994. ERM family members as molecular linkers between the cell surface glycoprotein CD44 and actin-based cytoskeleton. *J. Cell. Biol.* 126:391-401.
- TURNER, C. E. 2000. Paxillin interactions. *J. Cell Sci.* 113:4139-4140.
- UEKI, K., C. Wen-Bin, Y. Narita, A. Asai, and T. Kirino. 1999. Tight association of loss of merlin expression with loss of heterozygosity at chromosome 22q in sporadic meningiomas. *Cancer Res.* 59:5995-5998.
- WELLING, D. B. 1998. Clinical manifestations of mutations in the neurofibromatosis type 2 gene in vestibular schwannomas (acoustic neuromas). *Laryngoscope.* 108: 178-189.
- WELLING, D. B., E. M. Akhmametyeva, R. L. Daniels, J. M. Lasak, L. Zhu, B. A. Miles-Markley, and L. S. Chang. 2000. Analysis of the human neurofibromatosis type 2 gene promoter and its expression. *Otolaryngol. Head. Neck. Surg.* 4: 413-418.
- WENNERBERG, K., and C. J. Der. 2004. Rho-family GTPases: it's not only Rac and Rho (and I like it). *J. Cell Sci.* 117:1301-1312.



- WIEDERHOLD, T., M. F. Lee, M. James, R. Neujahr, N. Smith, and A. Murthy. 2004. Magicin, a novel cytoskeletal protein associates with the NF2 tumor suppressor merlin and Grb2. *Oncogene* 23:8815-8825.
- WOLFF, R. K., K. A. Frazer, R. K. Jackler, M. J. Lanser, L. H. Pitts, and Cox, D. R. 1992. Analysis of chromosome 22 deletions in neurofibromatosis related tumors. *Am. J. Hum. Genet.* 51:478-485.
- WU, K. L., S. Khan, S. Lakhe-Reddy, G. Jarad, A. Mukherjee, and C. A. Obejero-Paz. 2004. The NHE1 Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> exchanger recruits ezrin/radixin/moesin proteins to regulate Akt-dependent cell survival. *J. Biol. Chem.* 279:26280-26286.
- XIAO, G. H., A. Beeper, J. Chernoff, and J. R. Testa. 2002. p21-activated kinase links Rac/Cdc42 signaling to merlin. *J. Biol. Chem.* 277:883-886.
- XIAO, G. H., J. Chernoff, and J. R. Testa. 2003. NF2: The wizardry of Merlin. *Genes chromosomes cancer* 38:389-399.
- XIAO, G. H., R. Gallagher, J. Shetler, K. Suele, D. A. Altomare, and R. G. Pestell. 2005. The NF2 tumor suppressor gene product, merlin, inhibits cell proliferation and cell cycle progression by repressing cyclin D1 expression. *Mol. Cell Biol.* 25:2384-2394.
- XU, L., and D. H. Gutmann. 1998. Merlin differentially associates with microtubule and actin cytoskeleton. *J. Neurosci. Res.* 51:403-415.
- YAMASAKI, L., and M. Pagano. 2004. Cell cycle, proteolysis and cancer. *Curr. Opin. Cell Biol.* 16:623-628.
- YE, K., B. Aghdasi, H. R. Luo, J. L. Moriarity, F. Y. Wu, and J. J. Hong. 2002. Phospholipase C gamma 1 is a physiological guanine nucleotide exchange factor for the nuclear GTPase PIKE. *Nature* 415:541-544.
- YE, K. 2007. Phosphorylation of merlin regulates its stability and tumor suppressive activity. *Cell Adh. Migr.* 1:196-198.
- ZUCMAN-ROSSI, J., P. Legoix, H. Der Sarkissian, G. Cheret, F. Sor, and Bernardi, A. 1998. NF2 gene in neurofibromatosis type 2 patients. *Hum. Mol. Genet.* 7:2095-2101. 

Este artículo es citado así:

Sierra-Fonseca, J. A., J. Vargas-Medrano y L. F. Plenge-Tellechea. 2012: *Revisión: Mecanismos moleculares de la neurofibromatosis tipo 2. TECNOCENCIA Chihuahua* 6(1): 33-48.

## Resúmenes curriculares de autor y coautores

**JORGE ANÍBAL SIERRA FONSECA.** Se graduó del programa de Licenciatura en Biología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) en el año 2007. Posteriormente inició sus estudios de posgrado en la Universidad de Texas en El Paso (Texas, EUA), donde fue admitido en el programa de doctorado en Ciencias Biológicas/Patobiología. Actualmente cursa su tercer año en el programa de doctorado, donde además de desarrollar su proyecto de investigación, también funge como instructor asistente en diversos cursos de licenciatura. Ha asistido a diversos congresos locales, regionales, nacionales e internacionales, donde ha presentado los resultados de diversos proyectos de investigación. Actualmente se encuentra estudiando el papel de las proteínas G heterotrimericas en la organización del citoesqueleto durante la diferenciación neuronal y neurodegeneración, utilizando diversos modelos celulares. Sus intereses incluyen biología celular, neurociencias, señalización celular y cáncer.

**JAVIER VARGAS MEDRANO.** El oriundo de Ciudad Juárez, ingresó al programa de Biología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez en 1999 como parte de la primera generación del naciente programa. Ahí estudió el efecto de diferentes estructuras químicas de diclorobenzenos (precursores de pesticidas) sobre ATPasas de Ca<sup>2+</sup>. Después de obtener el grado de Licenciado, emigró a la Universidad de Texas en El Paso donde comenzó su Disertación Doctoral estudiando la fosforilación del transportador de glicina de cerebro, lo cual en la clínica puede ser un prometedor tratamiento para Esquizofrenia. Durante su estudio doctoral fue distinguido dos veces como asistente de investigación con fondos del National Institute of Health and National Institute of Mental Health de los Estados Unidos. En el 2011, fue distinguido con el Hispanic Training Fellowship para ocupar la posición de Postdoctoral-Research Associate en el Texas Tech Health Science Center en El Paso, Texas. Actualmente, el doctor es miembro de la American Chemical Society y se encuentra inmerso en varias investigaciones sobre una de las proteínas (CCR5) responsables de la entrada del virus del SIDA a las células, proyecto financiado por el National Institute of Health.

**LUIS FERNANDO PLENGE TELLECHEA.** Desde 1990 ingresó como becario interno del laboratorio de reproducción en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California. En 1992 culminó sus estudios de Biología en la misma dependencia. Posteriormente realizó sus estudios de Doctorado en Ciencias Biológicas por la Universidad de Murcia, culminando en 1998. El Dr. Plenge se ha caracterizado por sus estudios bioquímicos en la rama de proteínas asociadas en membranas. Actualmente labora como profesor investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Cuenta con múltiples publicaciones y dirección de tesis de pregrado y de grado. Es actual director en jefe de la revista de ciencias, Ciencia en la Frontera, e imparte la cátedra de Bioquímica en el programa de Biología y de Estructura y función proteínas en la Maestría en Ciencias con orientación en genómica (PNP). El Dr. Plenge terminó en el 2011 una estancia Posdoctoral en el Border Biomedical Research de la Universidad de Texas at El Paso, en la que estudió los mecanismos bioquímicos de neurotransportadores.



# Adiciones minerales como atenuantes de la reacción álcali sílice en estructuras de concreto hidráulico

## Mineral admixtures as attenuators of the alkali silica reaction in Portland cement concrete structures

CECILIA OLAGUE-CABALLERO<sup>1,2</sup>, GILBERTO WENGLAS-LARA<sup>1</sup>  
Y FERNANDO ASTORGA-BUSTILLOS<sup>1</sup>

*Recibido: Junio 6, 2011*

*Aceptado: Noviembre 25, 2011*

### Resumen

La reacción álcali sílice (RAS) afecta la durabilidad de estructuras de concreto hidráulico, ocasionando deterioros prematuros en el concreto hecho con agregados pétreos reactivos. El objetivo fue evaluar el potencial de la RAS del concreto hidráulico elaborado con agregados pétreos de dos regiones de Chihuahua para proponer medidas preventivas contra la RAS. Se discuten conceptos básicos de la reacción y mecanismos de expansión, condiciones que dan lugar al desarrollo y sustentabilidad de la RAS en el concreto. Se evaluaron diferentes mezclas de mortero mediante la norma ASTM C1260. Se consideraron dos tipos de cemento que comúnmente se comercializan (alto y bajo en álcalis) y dos tipos de adiciones minerales (micro sílice y ceniza volante clase F) para elaborar barras de mortero y medir su expansión a los 16 días de su elaboración, colocadas a una temperatura de 80 °C y en una solución de hidróxido de sodio. Para la determinación de la expansión se utilizó el comparador de longitudes (ASTM C490). En el caso de la arena de Ciudad Juárez combinada con 15% de micro sílice y con 25% de ceniza volante clase F, resultó no reactiva, con límites de expansión menores al 0.1%, que es el límite máximo permisible. De manera análoga, la arena del río Satevó, combinada con 5% de micro sílice y 20% de ceniza volante clase F, resultó no reactiva. Se concluye que estas proporciones son recomendables para su aplicación en estructuras de la ciudad de Chihuahua.

**Palabras clave:** mortero, expansión, micro sílice, ceniza volante clase F.

### Abstract

The alkali silica reaction (ASR) affects the durability of Portland cement concrete structures. It causes premature damages in structures made with Portland cement concrete in which is involved reactive aggregates. The objective of this research was to evaluate the potential of the ASR of Portland cement concrete with reactive aggregates of two regions of Chihuahua, in order to give alternatives to prevent the ASR were proposed. The issues discussed include basic concepts of reaction and expansion mechanisms, conditions that lead to the development and sustainability of ASR in the concrete. Several mixtures were evaluated by ASTM C1260. There were evaluated two types of cements that are commonly marketed (high and low in alkalis) and two types of mineral admixtures (silica fume and class F fly ash) were used to produce mortar bars samples. These samples were placed at a temperature of 80 °C and into a solution of sodium hydroxide for 16 days. After that, the expansion was measured (ASTM C490). In the case of Juarez city sand, it was mixed with 15% silica fume and 25% fly ash class F; the expansion was lower than 0.1%, which is the maximum allowable limit to be considered as reactive. In a similar way, Satevo river sand mixed with 5% silica fume and 20% fly ash class F was not reactive. It was concluded that these proportions are recommended for using in Portland cement structures.

**Keywords:** mortar, expansion, silica fume, fly ash class F.

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua. Nuevo Campus Universitario. Chihuahua, Chih., México, 31160. Tel. (614) 4 42 95 00.

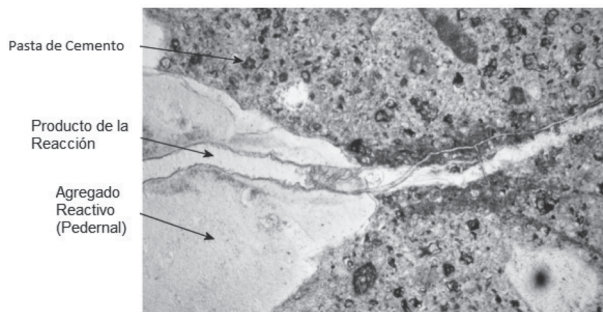
<sup>2</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: colague@uach.mx.

## Introducción

La reacción álcali sílice (RAS) afecta la durabilidad de estructuras de concreto, ocasionando deterioros prematuros del concreto construido con agregados reactivos. La RAS en concretos de cemento portland ocurre cuando los álcalis del cemento reaccionan con la sílice de los agregados, produciendo un gel que en presencia de humedad se expande, causando un agrietamiento en forma de piel de cocodrilo característico de la reacción.

El gel en presencia de humedad da lugar a un incremento en la presión interna en regiones localizadas de la matriz cementosa, esto induce deformaciones y puede iniciar un micro o macro fracturamiento, expansión excesiva y desalineamiento de la estructura. La Figura 1 muestra una imagen vista al microscopio de un concreto afectado por la RAS.

**Figura 1.** Imagen de un concreto dañado por RAS, se observa el gel y el patrón típico de agrietamiento.

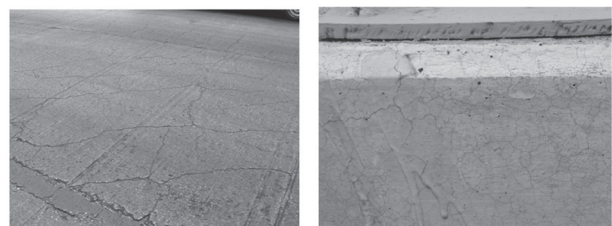


El deterioro álcali sílice, en un nivel micro estructural, puede ser atribuido a la formación de un gel hidrofílico debido a la sílice reactiva de los agregados ( $S^{2+}$ ), álcalis en el clinker del cemento (llamados  $K^+$  y  $Na^+$ ) y agua en la solución de poro del concreto. Macro estructuralmente las grietas pueden debilitar o degradar las condiciones de la estructura, extendiéndose por la acción del congelamiento y deshielo o cargas del tráfico causando la falla prematura de los pavimentos (Hasparyk *et al.*, 2000). La expansión inicial aparece en la superficie del pavimento con forma irregular, como un fracturamiento en forma de mapa (map-cracking), la cual puede llevar a desconchamiento de juntas (popout), estallamientos y otra clase de problemas relacionados con presiones.

Olague *et al.* (2001) estudiaron los deterioros prematuros en algunas áreas de la ciudad de Chihuahua, observando algunas vialidades dañadas por la acción de la RAS, como es el caso de la vialidad Juan Escutia, la cual presenta un severo agrietamiento en forma de mapeo y desconchamiento, que se muestra en la Figura 2.a. En el puente Sacramento, ubicado en el entronque de la calle Juárez y la carretera a Aldama, se evidencia el mapeo característico de la reacción el cual se observa en la foto del parapeto del puente mostrado en la Figura 2.b.

Las investigaciones de Olague *et al.* (2001) evidenciaron la causa de los deterioros mostrados y la cual es atribuible a la RAS. Este trabajo pretende probar la efectividad en el uso de micro sílice y ceniza volante clase F para inhibir la evolución de la reacción en la elaboración de concretos nuevos en que se utilicen los mismos bancos de materiales que fueron usados en la construcción de las vialidades Juan Escutia y calle 34, y del puente Sacramento, entre otros. La prueba de expansión de barras de mortero ASTM C1260 puede ser utilizada para explicar los deterioros observados en las estructuras de concreto hidráulico (Šachlová, *et al.*, 2010).

**Figura 2.** Deterioros debido a la presencia de la RAS en la ciudad de Chihuahua.



(a) Vialidad Juan Escutia

(b) Parapeto del puente Sacramento

Las adiciones minerales que pueden ser utilizadas para mitigar la RAS son: micro sílice y puzolana clase F. Se decidió la utilización de la ceniza volante clase F porque es la que ha probado ser más eficiente para inhibir la evolución de la RAS (Shon *et al.*, 2002).

Los objetivos de la investigación fueron:

- Determinar el grado del potencial de expansión de las barras de mortero formadas con arenas de las principales ciudades del estado de Chihuahua: Ciudad Juárez y Chihuahua.

- Establecer el porcentaje óptimo de la adición mineral que mitiga la RAS y probar su efectividad.

### Materiales y métodos

Los materiales utilizados fueron, en el caso de Ciudad Juárez, bancos de arena natural y en el caso de Chihuahua, agregados provenientes del río Satevó. Las barras se elaboraron con los cementos disponibles en la región, uno alto en álcalis y otro bajo en álcalis.

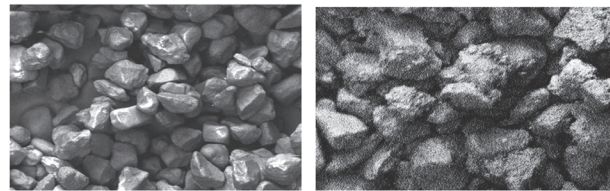
La metodología experimental consistió en elaborar barras de mortero añadiendo dos adiciones minerales; la primera, micro sílice, en porcentajes de 5%, 10% y 15%; la segunda, una ceniza volante clase F, en porcentajes de 15, 20 y 25%, con la finalidad de determinar la expansión mediante la prueba ASTM C1260 (ASTM, 2007). El Cuadro 1 muestra las combinaciones de mortero evaluadas.

Las arenas de Ciudad Juárez y de la ciudad de Chihuahua (Figura 3), fueron analizadas a través de la prueba de microscopía electrónica de barrido, con el objeto de determinar los elementos químicos que están presentes en los minerales detectados en la literatura como potencialmente reactivos a la RAS. Adicionalmente, los dos cementos utilizados (bajo y alto en álcalis) fueron sometidos a un análisis químico para determinar el porcentaje de álcalis presentes en los mismos medidos en unidades de sodio equivalente.

**Cuadro 1.** Mezclas de mortero evaluadas.

Mezcla	Origen del agregado (arena)	Tipo de cemento	Adición mineral
M1	Ciudad Juárez	Bajo en álcalis	
M2	Ciudad Juárez	Alto en álcalis	
M3	Ciudad Juárez	Alto en álcalis	Micro sílice 5%
M4	Ciudad Juárez	Alto en álcalis	Micro sílice 10%
M5	Ciudad Juárez	Alto en álcalis	Micro sílice 15%
M6	Ciudad Juárez	Alto en álcalis	Ceniza volante clase F 15%
M7	Ciudad Juárez	Alto en álcalis	Ceniza volante clase F 20%
M8	Ciudad Juárez	Alto en álcalis	Ceniza volante clase F 25%
M9	Ciudad de Chihuahua (río Satevó)	Alto en álcalis	
M10	Ciudad de Chihuahua (río Satevó)	Bajo en álcalis	
M11	Ciudad de Chihuahua (río Satevó)	Alto en álcalis	Ceniza volante clase F 15%
M12	Ciudad de Chihuahua (río Satevó)	Alto en álcalis	Ceniza volante clase F 20%
M13	Ciudad de Chihuahua (río Satevó)	Alto en álcalis	Ceniza volante clase F 25%
M14	Ciudad de Chihuahua (río Satevó)	Alto en álcalis	Micro sílice 5%
M15	Ciudad de Chihuahua (río Satevó)	Alto en álcalis	Micro sílice 10%

**Figura 3.** Agregado fino utilizado para hacer mortero (imagen de electrones retrodispersados 95X).



(a) Arena de Ciudad Juárez

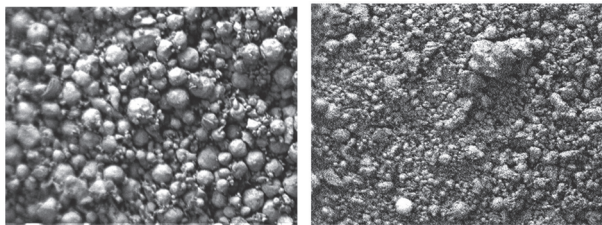
(b) Arena del río Satevó

**Adiciones minerales.** Las adiciones minerales seleccionadas para inhibir la RAS fueron micro sílice y ceniza volante clase F. La micro sílice (Figura 4a) es un micro relleno que físicamente llena los espacios entre las partículas del cemento, reduciendo la permeabilidad; reacciona químicamente dentro de la matriz cementicia para aumentar la cantidad de hidrosilicato de calcio (gel HSC).

El gel HSC es un agente de adhesión que mantiene la matriz cementicia aglomerada en el estado de solidificación (MBT, 2004). En la imagen se muestra una estructura esférica, de diversos tamaños, lo cual permite reducir los vacíos entre el agregado y cemento.

La producción de la ceniza volante clase F está dada por la combustión del carbón bituminoso. La ceniza producida por estos carbones contiene solamente una mínima cantidad de calcio, menos del 10% de CaO, con contenidos de carbono usualmente menores del 5%. La ceniza volante clase F no exhibe características de auto-cementación.

**Figura 4.** Adiciones minerales (imagen de electrones retro-dispersados 95X).



(a) Micro sílice Rheomac SF100

(b) Ceniza volante Clase F

#### *Preparación de las muestras de mortero.*

Se prepararon tres especímenes de prueba por cada combinación arena-cemento-material cementante suplementario. Los moldes utilizados fueron los especificados en la norma ASTM C490 (ASTM, 2011a), en los cuales su superficie interior se cubrió con aceite para evitar que las barras se pegaran al molde. Las cantidades de materiales especificadas para la elaboración de las barras son de 440 g de cemento, 900 g de arena con una proporción agua-cemento de 0.47 por masa, por lo que le corresponde la cantidad de 210 ml de agua. En los morteros basados en combinaciones se le restó a la masa de cemento la masa de micro sílice o puzolana, para mantener las cantidades especificadas. La mezcla del mortero se realizó con los requerimientos de la norma ASTM C305 (ASTM, 2011b).

*Medición de la expansión de las muestras de mortero.* Inmediatamente después de

colados los moldes, se colocaron en el cuarto de humedad, donde permanecieron por 24 h. La temperatura del cuarto se adecuó 23 °C más 1.7 °C de acuerdo a la norma ASTM C511 (ASTM, 2009). Pasadas las 24 h se retiraron los especímenes del molde, protegiéndolos de la pérdida de humedad, se identificaron y tomaron lecturas iniciales en el comparador de longitudes referido en la norma ASTM C490 (ASTM, 2011a). Dicho comparador está compuesto por una base metálica adicionada con un micrómetro electrónico, el cual mide longitudes en unidades 0.001 mm. Una vez medidos, los especímenes se sumergieron en contenedores (a prueba de altas temperaturas) con agua y se colocaron en un horno a 80 °C con una tolerancia de  $\pm 5$  °C por un periodo de 24 h.

Después de las 24 h en el horno, se procedió a tomar la lectura cero de cada barra, el proceso de secado y lectura debe ser de 15 s, con una tolerancia de  $\pm 5$  s. Inmediatamente, las barras se sumergieron en contenedores con la solución reactiva de NaOH, esta solución se formó en base a la norma ASTM C1260 (ASTM, 2007), la cual especifica que cada litro de solución deberá contener 40 g de NaOH disuelta en 900 ml de agua y debe ser diluida con agua destilada para obtener 1 l de solución. Posteriormente, los contenedores se regresaron al horno a una temperatura de 80 °C con una tolerancia de  $\pm 5$  °C, permaneciendo en el horno durante los siguientes 14 días; se tomó una lectura intermedia a los siete días, a la misma hora.

Obtenidos los datos de todas las lecturas, se calculó la diferencia entre la lectura cero y la lectura de 14 días en 0.001% de longitud efectiva y se registró la expansión del espécimen. Para el cálculo de esta expansión se utilizó la fórmula:

$$L = [(L_x - L_i) / G] \times 100$$

Donde:

L = Cambio de longitud en un tiempo «x», %.

L<sub>x</sub> = Lectura del comparador del espécimen en «x» tiempo menos la lectura del comparador de la barra de referencia, mm.



Li = Lectura inicial del comparador del espécimen menos la lectura del comparador de la barra de referencia, mm.

G = Longitud nominal del molde, las lecturas fueron tomadas en milímetros.

Los porcentajes obtenidos de la prueba se interpretaron con los siguientes límites:

-Porcentaje de expansión < 0.10%: materiales no reactivos

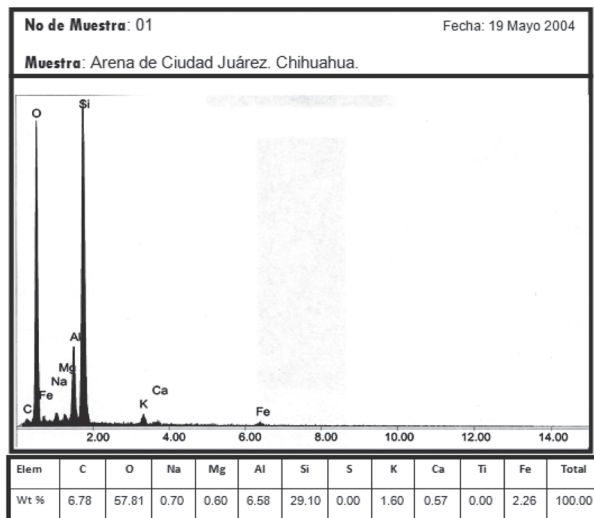
-Porcentaje de expansión > 0.20%: materiales potencialmente reactivos

- Porcentaje de expansión entre 0.10% < L < 0.20%: materiales posiblemente reactivos, se necesita información suplementaria para determinar su potencial.

## Resultados y discusión

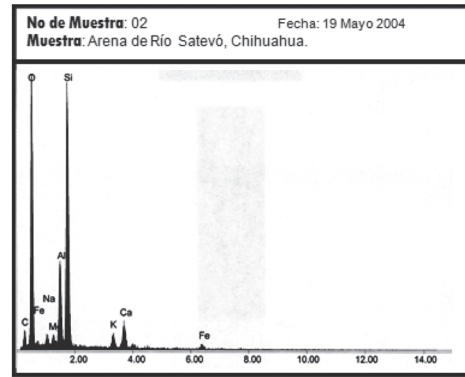
*Análisis del agregado fino y cemento.* Como resultado de la prueba de microscopia electrónica de barrido (ver Figura 5), se observa que la arena de Ciudad Juárez tiene un alto contenido de sílice (29.10%), mostrando cristales de cuarzo (C), microclina (M), sanidina (S) y fragmentos líticos de cuarcita (Cr), granito (G), riolita (R), hornfels de epidota (H) y pedernal (P). La combinación de estos minerales crea un potencial alto de reactividad álcali sílice.

Figura 5. Análisis de microscopia electrónica de barrido en arena de Ciudad Juárez.



En el caso de la arena del río Satevó (ver Figura 6), se observa que tiene un menor contenido de sílice (20.01%), mostrando cristales de cuarzo (C), calcita, aluminatos cálcicos (AlCa) y cristobalita. La combinación de estos minerales crea un potencial medio de reactividad álcali sílice.

Figura 6. Análisis de microscopia electrónica de barrido en arena de río Satevó.



Las pruebas de examinación petrográfica (Cuadro 2) muestran la presencia en el banco de arena de Ciudad Juárez de minerales reactivos como la calcedonia en un porcentaje del 10% y cuarzo reactivo en un porcentaje de 50%, como lo muestra la prueba de difracción de rayos X.

La arena del río Satevó (Cuadro 2) mostró, de acuerdo a las pruebas de examinación petrográfica de agregados, la presencia de líticos riolíticos en un porcentaje de 20%, y la presencia de cuarzo reactivo en un 40%.

Cuadro 2. Resultados de las pruebas de examinación petrográfica y difracción de rayos X de los bancos estudiados.

Banco de material	Difracción de rayos X	Examinación petrográfica (ASTM C295)	
		Minerales reactivos	Porcentaje
Arena de Ciudad Juárez	Cuarzo criptocristalino	Calcedonia	10
		Cuarzo	50
Arena del río Satevó	Cuarzo criptocristalino	Líticos riolíticos	20
		Cuarzo	40

El cemento alto en álcalis (C1) y el cemento bajo en álcalis (C2), fueron sometidos a un análisis químico para determinar el porcentaje de álcalis presentes medidos en unidades de sodio equivalente. Estos resultados se muestran en el Cuadro 3. En el Cuadro 4 se muestra el contenido total de álcalis en unidades de sodio equivalente para los dos cementos estudiados.

**Cuadro 3.** Análisis químico de los cementos utilizados.

Compuesto	Cemento C1 %	Cemento C2 %
SiO <sub>2</sub>	19.56	20.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.79	4.86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.93	3.24
CaO	61.37	63.41
MgO	2.50	2.52
SO <sub>3</sub>	3.69	2.88
Na <sub>2</sub> O	0.45	0.06
K <sub>2</sub> O	0.73	0.57
TiO <sub>2</sub>	0.20	0.23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.11
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.19	0.06

**Cuadro 4.** Contenido total de álcalis en Na<sub>2</sub>O equivalente.

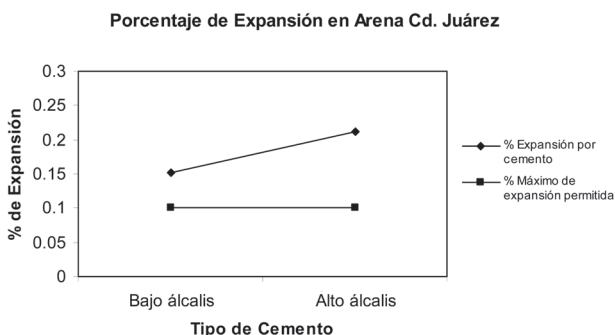
Tipo de cemento	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	% Contenido de álcalis Na <sub>2</sub> O equivalente
Cemento C1	0.45	0.73	0.9345
Cemento C2	0.06	0.57	0.4282

*Análisis de las muestras con arena de Ciudad Juárez.* La Figura 7 muestra los porcentajes de expansión de las barras de mortero preparadas con arena de Ciudad Juárez y los dos tipos de cemento considerados (alto y bajo en álcalis). Podemos observar que ninguno de los morteros cumple con el límite de expansión de 0.1%, por lo que es necesario la adición de materiales cementantes

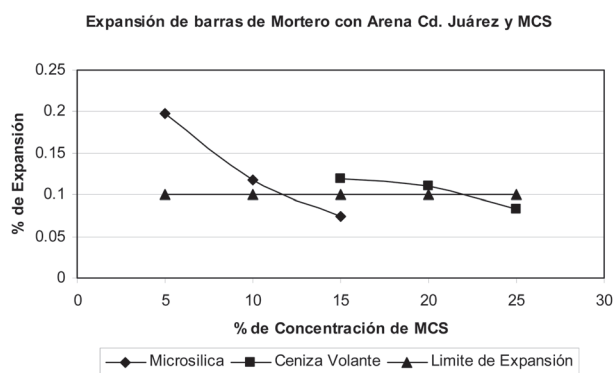
suplementarios a la mezcla con la finalidad de reducir esta expansión.

En el caso de las combinaciones con materiales cementantes suplementarios (MCS), la arena de Juárez reaccionó positivamente al adicionar micro sílice en 15% o ceniza volante 25%; las combinaciones con porcentajes de concentraciones menores a los indicados anteriormente resultaron potencialmente reactivos a la RAS, como se muestra en la Figura 8.

**Figura 7.** Porcentaje de expansión de barras de mortero con arena de Ciudad Juárez y los dos tipos de cemento.



**Figura 8.** Porcentaje de expansión de barras de mortero con arena de Ciudad Juárez y materiales cementantes suplementarios (MCS).

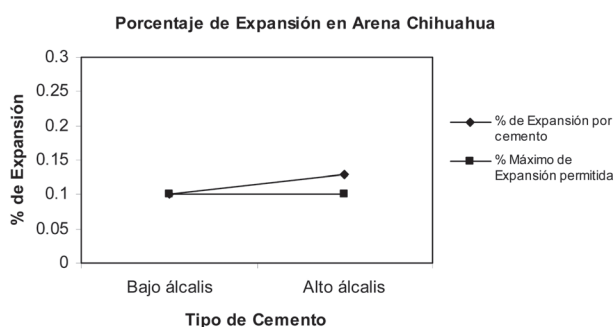


*Análisis de las muestras con arena de la ciudad de Chihuahua.* La Figura 9 muestra los porcentajes de expansión de las barras de mortero realizadas con arena de Chihuahua y los dos tipos de cemento (bajo y alto en álcalis). Se puede observar que la arena de la ciudad de

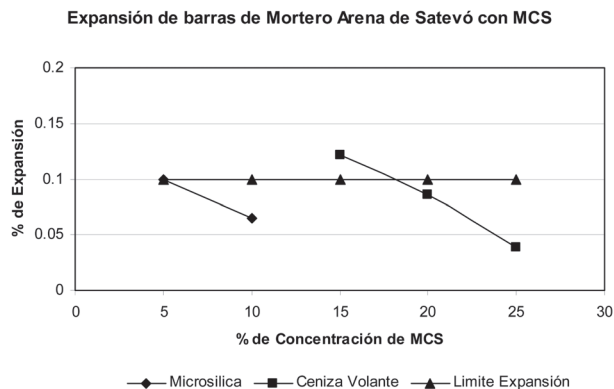
Chihuahua se encuentran dentro del rango potencialmente reactivo ( $0.2\% > E > 0.1\%$ ).

Al combinar la arena de Satevó con micro sílice 5% o ceniza volante 20% (Figura 10), se obtuvieron porcentajes en el rango no reactivo a la RAS, por lo que se recomienda su aplicación a concretos utilizados en la ciudad de Chihuahua.

**Figura 9.** Porcentaje de expansión de barras de mortero con arena del río Satevó y los dos tipos de cemento.



**Figura 10.** Porcentaje de expansión de barras de mortero con arena del río Satevó y materiales cementantes suplementarios (MCS).



## Conclusiones

La expansión producida por la RAS utilizando los agregados y cementos de la región de Chihuahua, se encuentra entre 0.15% a 0.25%, por lo que se considera dentro de un rango reactivo.

La utilización de adiciones minerales como

la micro sílice y la ceniza volante clase F probó ser una medida efectiva para inhibir la evolución de la RAS, siempre y cuando se utilicen en los porcentajes adecuados.

En el caso de la arena de Ciudad Juárez, la mejor opción para inhibir la RAS fue la adición de 15% de micro sílice; en el caso de la arena del río Satevó fue del 5% de micro sílice. Es importante mencionar que más de un 15% incrementaría sustancialmente el costo del concreto.


La adición de ceniza volante clase F para inhibir la RAS, en el caso de la arena de Ciudad Juárez deberá ser del 25% y en el caso de la arena del río Satevó, del 20%.

## Agradecimientos

Se agradece a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua y al Centro de Investigación de Materiales Avanzados, por el apoyo brindado para la realización de la presente investigación. Al Grupo Cementos de Chihuahua por la donación de materiales utilizados en las distintas etapas de la investigación.

## Literatura citada

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2011. ASTM C 490-11. Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete. Annual Book of Standards, vol. 4.01. Construction. Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2011. ASTM C 305-11. Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency. Annual Book of Standards, vol. 4.01. Construction. Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2009. ASTM C 511-09. Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes. Annual Book of Standards, vol. 4.01. Construction. Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2007. ASTM C 1260-07. Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method). Annual Book of Standards, vol. 4.02. Construction. Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- HASPARYK, N. P., P. J. M. Monteiro y H. Carasek. 2000. Electronic microscopy to identify ASR. *ACI Journal Materials*, 97(1): 486-492.
- MASTER BUILDERS TECHNOLOGIES, MBT México (MBT). 2004. <http://www.mbt-la.com>. «Recomendaciones sobre la aplicación de micro sílice rheomac sf 100». Latinoamérica.

- NOCHAIYA, T., W. Wongkeo y A. Chaipanich. 2010. Utilization of fly ash with silica fume and properties of Portland cement-fly ash-silica fume concrete. *Fuel*, 89 (1): 768-774.
- OLAGUE, C. O., R. Bojórquez y P. Castro. 2001. Application of a methodology for evaluating concrete pavements with durability criteria. International Congress of International Road Federation. Paris France.
- OLAGUE, C. O. 2003. Caracterización físico química de agregados para concreto hidráulico. Universidad Autónoma de Chihuahua. Colección de Textos Universitarios. Chihuahua, México. pp. 75-77, 117-129, 166-1.
- SHON, G. S., D.G. Zollinger y S. L. Sarkar. 2002 evaluation of modified ASTM C1260 accelerated mortar bar test for alkali-silica reactivity. *Cement and Concrete Research*. 32(1): 1981-1987.
- ŠACHLOVÁ, Š., R. Pøikryl y Z. Pertold. 2010. Alkali-silica reaction products: Comparison between samples. *Materials Characterization* 61(1): 1379-139. 

---

Este artículo es citado así:

Olague-Caballero, C., G. Wenglas-Lara y F. Astorga-Bustillos. 2012: *Adiciones minerales como atenuantes de la reacción álcali sílice en estructuras de concreto hidráulico*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 6(1): 49-56.

## Resúmenes curriculares de autor y coautores

**CECILIA OLAGUE CABALLERO.** Terminó su licenciatura en 1984, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero civil por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en Chihuahua, Chih., donde obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Especialidad en Vías Terrestres en 1990 por la Universidad Autónoma de Chihuahua y el grado de Doctor en Ciencias Químicas en 2001 por la Universidad Nacional Autónoma de México. Desde 1988 labora en la Facultad de Ingeniería de la UACH y posee la categoría de Académico titular C. Fue delegada por México del comité de transporte sustentable del 2004 a 2007. Secretaria Hispanohablante en la Asociación Mundial de la carretera de 2007. Coordinadora de a Maestría en Vías Terrestres de 1992 al 2000, Secretaria de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua del 2000 a 2004. Subdelegada de Desarrollo Urbano y Ordenamiento del Territorio de SEDESOL, 2004. Fue Consejero directivo de Comité Municipal de Ecología, del Consejo Municipal de Planeación y de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento del 2004 a 2007. Directora de Desarrollo Urbano y Ecología, Ayuntamiento de Chihuahua, 2004 a 2007. Ha dirigido 24 tesis de licenciatura, 18 de maestría y 1 de doctorado. Es autora de aproximadamente 80 artículos científicos, ha participado en ponencias en congresos nacionales e internacionales. Ha escrito como autor un libro especializado titulado «Agregados para Concreto Hidráulico» editado en la colección Textos Universitarios de la UACH. Autor del escrito científico titulado «Adicciones minerales como atenuantes de la reacción álcali sílice en estructuras de concreto hidráulico». Coautor de libro especializado «Infraestructura de concreto armado, deterioro y opciones de preservación, editado por el Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto.



# Emergencia y crecimiento del zacate banderilla [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] con biosólidos en condiciones de sequía

Emergence and growth of sideoats grama grass [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] with biosolids under drought conditions

PEDRO JURADO-GUERRA<sup>1,4</sup>, HÉCTOR DOMÍNGUEZ-CARAVEO<sup>2</sup>, ALICIA MELGOZA-CASTILLO<sup>3</sup>  
Y CARLOS MORALES-NIETO<sup>1</sup>

Recibido: Agosto 1, 2011

Aceptado: Noviembre 21, 2011

## Resumen

La baja y errática precipitación ocasiona un bajo establecimiento de zacates en resiembros de pastizales en zonas áridas y semiáridas. La aplicación de biosólidos ha mostrado un incremento en la infiltración y retención de agua del suelo en pastizales. El objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación de biosólidos sobre la emergencia y supervivencia del zacate banderilla (*Bouteloua curtipendula*). Se evaluaron dosis de 0 (testigo), 10, 20, 30, 40 y 50 t.ha<sup>-1</sup> y dos métodos de aplicación: superficial (BIOSUP) e incorporado al suelo (BIOINC) bajo condiciones de invernadero. Se utilizaron macetas de plástico con suelo franco-arenoso de un pastizal degradado y 15 semillas por maceta. Se aplicó un patrón de riego simulando condiciones de sequía. Se evaluaron algunas propiedades del suelo. El estudio se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial. Los datos de emergencia y supervivencia se analizaron con modelos logísticos. La emergencia y supervivencia del zacate banderilla disminuyeron linealmente a medida que se incrementó la dosis de biosólidos. La biomasa y altura de plántulas emergidas se incrementaron de 7 cm y 8.0 mg.pl<sup>-1</sup> en el testigo hasta un máximo de 17 cm y 45.4 mg.pl<sup>-1</sup>, respectivamente en la dosis de 10 t.ha<sup>-1</sup> con BIOINC. El nitrógeno del suelo se incrementó de 150 mg.kg<sup>-1</sup> en el testigo hasta 350 mg.kg<sup>-1</sup> en la dosis de 50 t.ha<sup>-1</sup>. La aplicación de dosis bajas de biosólidos en el método BIOINC, presentó mejor crecimiento del zacate banderilla con buen potencial para mejorar el establecimiento de zacate banderilla en condiciones de sequía.

**Palabras clave:** zacate, lodos, supervivencia plántulas, resiembra, pastizales.

## Abstract

Low and erratic rainfall causes a low grass establishment on reseeded of grasses in arid and semiarid regions. The application of biosolids has shown to increase infiltration and soil water retention in rangelands. The objective was to evaluate the application of biosolids on the emergence and survival of sideoats grama (*Bouteloua curtipendula*). Biosolids rates at 0 (control), 10, 20, 30, 40 or 50 t.ha<sup>-1</sup> and two application methods: surface (BIOSUR) and incorporated into the soil (BIOINC) were evaluated under greenhouse conditions. Plastic pots with sandy loam soil from a degraded rangeland with fifteen grass seeds per pot were used. An irrigation pattern simulating drought conditions was applied. Some soil properties were chemically analyzed. A completely random design with a factorial arrangement was used for data analysis. Seedling emergence and survival data were analyzed with logistic models. The emergence and survival of sideoats grama decreased linearly with increasing biosolids rates. Plant height and biomass of emerged seedlings increased from 7 cm and 8 mg.pl<sup>-1</sup> in the control up to 17 cm and 45 mg.pl<sup>-1</sup>, respectively at the rate of 10 t.ha<sup>-1</sup> with BIOINC. Soil nitrogen increased from 150 mg.kg<sup>-1</sup> in the control to 350 mg.kg<sup>-1</sup> in 50 t.ha<sup>-1</sup>. Low biosolids rates under the BIOINC method showed better growth of sideoats grama with good potential to improve its establishment under drought conditions.

**Keywords:** grass, sewage sludge, plant survival, reseeded, rangelands.

<sup>1</sup> Sitio Experimental La Campana, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP. Km 33 Carretera Chihuahua-Ojinaga, Cd. Aldama, Chihuahua. C.P. 32910. Tel. (614) 451-0601.

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Recursos Naturales (CIReNa). Salaises, Chihuahua.

<sup>3</sup> Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Km 1 Perif. F.R. Almada, Chihuahua, Chih.

<sup>4</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: jurado.pedro@inifap.gob.mx.

## Introducción

La resiembra de pastizales es una práctica recomendada para recuperar la cobertura de especies forrajeras en pastizales degradados. La resiembra de zacates nativos de buen valor forrajero como el navajita [*Bouteloua gracilis (Willd. ex Kunth) Lag. ex Steud.*], banderilla [*Bouteloua curtipendula (Michx.) Torr.*] y gigante [*Leptochla dubia (H.B.K.) Nees*] en zonas áridas y semiáridas conlleva un gran riesgo debido sobre todo a la baja disponibilidad de humedad del suelo como consecuencia de la precipitación errática en estas zonas.

Uno de los métodos para mejorar las condiciones de humedad en el suelo, es la aplicación de abonos orgánicos, ya que incrementan la infiltración y la retención de agua (Tisdale *et al.*, 1993; Brady y Weil, 1996). Los biosólidos son un subproducto orgánico de las plantas de tratamiento de aguas residuales, cuya aplicación en forma superficial ha demostrado un incremento en la infiltración y conservación de humedad del suelo (Moffet *et al.*, 2005; Hahm y Wester, 2004; Jurado *et al.*, 2007) en pastizales áridos y semiáridos. La aplicación superficial de biosólidos ha incrementado la producción de forraje en zacates como toboso [*Hilaria mutica (Buckl.) Bent.*] y navajita en zonas áridas y semiáridas (Jurado y Wester, 2001; Jurado *et al.*, 2006a). Con base en estos resultados, la aplicación superficial de biosólidos podría mejorar la emergencia y crecimiento de zacates en zonas áridas y semiáridas.

Pocos estudios han evaluado el establecimiento de gramíneas con el uso de biosólidos. En uno de ellos, se encontró que la aplicación superficial de estos materiales no favoreció la emergencia de zacates navajita y gigante bajo condiciones de invernadero; sin embargo, la emergencia sí se incrementó con la aplicación superficial de biosólidos y riego moderado en condiciones de campo en un pastizal árido de Texas (Hahm y Wester, 2004). En otros estudios realizados bajo condiciones de invernadero se han observado efectos negativos en la germinación de zacate ballico perenne (*Lolium perenne*) y mijo común (*Panicum miliaceum*) con el uso de los biosólidos (Zubillaga y Lavado, 2006; Banks *et*

*al.*, 2006). En un estudio reciente se observó que los biosólidos aplicados en forma superficial e incorporados al suelo disminuyeron la emergencia y supervivencia del zacate navajita en condiciones de invernadero (Domínguez-Caraveo *et al.*, 2010). Sin embargo, no existe información sobre el establecimiento del zacate banderilla con la aplicación de biosólidos.

El zacate banderilla es una planta perenne, nativa de Chihuahua, de buen valor forrajero y con una amplia distribución en casi todos los tipos de pastizales del estado, siendo muy importante para la ganadería (COTECOCA, 1979; Morales y Melgoza, 2010). Este zacate se recomienda para resiembras en pastizales erosionados (Esqueda *et al.*, 2004) con el fin de mejorar la condición de los pastizales, recuperando la funcionalidad de estos ecosistemas. Desafortunadamente, varios estudios de campo han demostrado que los pastos nativos como banderilla y navajita bajo siembra tienen un bajo crecimiento y establecimiento en condiciones de campo (Cox *et al.*, 1986; Morales, 2001; Esqueda *et al.*, 2005).

Dado que los biosólidos pueden mejorar las condiciones de humedad del suelo y aportar algunos nutrimentos para las plantas, la hipótesis de este trabajo es que los biosólidos incrementan la emergencia y crecimiento del zacate banderilla en condiciones áridas. Con base en lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar la aplicación de cinco dosis de biosólidos y dos métodos de aplicación en la emergencia y supervivencia de zacate banderilla, simulando condiciones de sequía en invernadero.

## Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, durante los meses de abril y mayo del 2005. Las temperaturas promedio máxima y mínima en el invernadero fueron de 40 °C y 20 °C, respectivamente. Se utilizó suelo de un pastizal mediano abierto erosionado de la región central del estado de Chihuahua, el cual fue previamente tamizado con malla de 0.5 cm. La textura del suelo es franco-arenosa. Los biosólidos de tipo doméstico-anaeróbico fueron obtenidos de la planta tratadora de aguas residuales de la ciudad de Chihuahua. Se tomaron seis muestras de biosólidos de aproximadamente 1 kg. Una sub-muestra de aproximadamente 25 g fue tomada de cada muestra y secada en horno a 105 °C durante 24 h para determinar humedad de los biosólidos y la dosis de aplicación. De las seis muestras de biosólidos se formó una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg para análisis químico. Para los biosólidos y el suelo se evaluaron los siguientes parámetros: pH (potenciómetro), materia orgánica (MO) con el método de Walkley y Black; conductividad eléctrica (CE) (Solubridge), nitrógeno disponible (Brucina y colorimetría) y fósforo disponible. El potasio, calcio, magnesio y sodio fueron extraídos con acetato de amonio, mientras que el cobre, manganeso, fierro y zinc fueron extraídos con DTPA y analizados con espectrofotómetro de absorción atómica. Para el análisis de Pb, Ni y Cr, éstos fueron extraídos con digestión ácida y analizados con equipo de espectrofotometría de absorción atómica de flama (EAAF), mientras que el As y Hg fueron analizados con EAAF y generador hídrico. En el Cuadro 1 se muestran algunas propiedades químicas del suelo y de los biosólidos utilizados en el estudio.

Estos biosólidos son similares en algunos parámetros como el pH, Ni y Cd a los biosólidos utilizados en otros estudios (Jurado *et al.*, 2006a; Jurado-Guerra *et al.*, 2006b). Además, estos biosólidos se encuentran por debajo de los

límites permisibles para metales pesados, de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (SEMARNAT, 2003). Por lo tanto, están clasificados como «Excelente» en función del contenido de dichos metales y pueden ser utilizados para usos agrícolas, forestales y mejoramiento de suelos.

**Cuadro 1.** Propiedades químicas del suelo de un pastizal mediano abierto degradado de la región semiárida y de biosólidos anaeróbicos de Chihuahua.

Parámetro	Suelo	Biosólidos	Elemento	Suelo (mg.kg <sup>-1</sup> )	Biosólidos (mg.kg <sup>-1</sup> )
pH	6.5	6.7	Cu	1	9
MO* (%)	0.55	12	Fe	4	30
CaCO <sub>3</sub> (%)	Libre	Libre	Mn	14	15
CE* (dS m <sup>-1</sup> )	1.4	3	Zn	2.7	111
N-NO <sub>3</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	60	66	Pb	NA	84
P (mg kg <sup>-1</sup> )	8	7	Ni	NA	20
K (mg kg <sup>-1</sup> )	362	962	Cd	NA	5
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	850	3,412	Hg	NA	3
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	125	1,037	As	NA	2
Na (mg kg <sup>-1</sup> )	237	1,312	Cr	NA	155

\*MO=Materia Orgánica;CE=Conductividad Eléctrica;NA=No Analizado. N-NO<sub>3</sub> y los demás elementos fueron analizados con base en materia seca en suelo y biosólidos.

Se utilizaron macetas de plástico de 15 cm de diámetro por 20 cm de alto. Antes de la siembra, las macetas fueron regadas diariamente para germinar las semillas presentes en el suelo. Después de dos semanas de riego, se eliminaron todas las plantas emergidas. Se evaluaron doce tratamientos: seis dosis de biosólidos: 0, 10, 20, 30, 40 y 50 t.ha<sup>-1</sup> en base seca y dos métodos de aplicación: superficial (BIOSUP) e incorporados al suelo (BIOINC). Para las variables de respuesta de emergencia y supervivencia en los primeros 30 días del estudio, se utilizaron ocho repeticiones (doce tratamientos x ocho repeticiones=96 macetas). Para las demás variables de respuesta, se

utilizaron tres repeticiones (doce tratamientos x tres repeticiones=36 macetas). En BIOSUP, se sembraron 15 semillas de zacate banderilla variedad Reno en cada maceta, las cuales se distribuyeron en forma uniforme en las macetas, y se aplicó una capa del mismo suelo en forma manual para tapar la semilla, dejando las semillas a una profundidad aproximada de 0.5 cm. Los biosólidos, con un contenido de humedad de 60.5%, fueron aplicados en la maceta, cuya área fue de 0.070686 m<sup>2</sup>, en forma superficial y uniforme en la maceta, siendo 178.7 gr maceta<sup>-1</sup> para la dosis de 10 t.ha<sup>-1</sup>, hasta 893.5 gr maceta<sup>-1</sup> en base húmeda para la dosis de 50 t. ha<sup>-1</sup>. En BIOINC, los biosólidos fueron mezclados completamente con el suelo y enseguida se sembraron las semillas similarmente a como se hizo en el tratamiento BIOSUP.

El patrón de riego de las macetas fue similar a la precipitación pluvial promedio de 35 años que ocurre durante el verano en los Valles Centrales de Chihuahua para el mes de julio, de acuerdo al análisis de datos históricos según Esqueda *et al.* (2005); aunque la cantidad de agua total fue un poco menor de la media histórica, para evaluar el efecto de los biosólidos, simulando condiciones de sequía. Se aplicó una cantidad de agua equivalente a una precipitación de 10 mm por evento, que es el dato promedio que se presenta con mayor frecuencia para el mes de julio en esta misma zona según Esqueda *et al.* (2005), bajo una secuencia de 1-2, 1-2, 1-1, 1-1, 2-4 y 2-12 días con-y-sin riego. Por lo tanto, la cantidad total de agua fue 80 mm, mientras que la precipitación normal es de 86 mm (Medina *et al.*, 2006).

La emergencia del zacate banderilla se cuantificó a los 7, 14 y 21 días, contando el número de plántulas emergidas diariamente en cada maceta. La supervivencia se determinó a los 30 días después de la siembra mediante el conteo de plántulas vivas en cada maceta (Ries y Svejcar, 1991). En esta misma fecha se realizaron las siguientes estimaciones: altura de plantas, medida desde el suelo hasta la hoja más larga; biomasa aérea por medio de corte

manual. La longitud y la biomasa de la raíz fueron estimadas extrayendo la raíz del suelo por medio de lavado con agua a través de una malla de 1 mm. La longitud de raíz se estimó midiendo la raíz más larga en cada planta. La parte aérea y la raíz fueron secadas a 60 °C por 48 h para estimar la biomasa seca. La biomasa aérea y la de raíz fueron estimadas con tres repeticiones.

El estudio se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar bajo un arreglo factorial (Kirk, 1982) con seis dosis y dos métodos de aplicación de biosólidos, siendo la maceta la unidad experimental. Para el análisis de la información de emergencia y supervivencia de zacate banderilla se utilizaron modelos logísticos con PROC CATMOD (SAS, 2005). Primero se probaron modelos completos y enseguida modelos incompletos hasta encontrar aquel donde la(s) variable(s) fueran significativas y el coeficiente de probabilidad (CP) ajustara al modelo. Para emergencia, el modelo completo no ajustó, donde la dosis fue significativa ( $P \leq 0.0001$ ), el método y su interacción fueron no significativas ( $P \leq 0.5338$ ;  $P \leq 0.1977$ ) y CP=0.0001. El modelo de mejor ajuste para emergencia de zacate banderilla incluyó solamente la dosis de biosólidos ( $P \leq 0.0001$ ; CP=0.006). Similarmente, para sobrevivencia de zacate banderilla el modelo completo no ajustó (CP=0.0178), siendo significativas la dosis, el método y su interacción. El modelo de mejor ajuste para sobrevivencia fue el de dosis de biosólidos ( $P \leq 0.0001$ ; CP=0.0187).

Las variables de crecimiento de planta y propiedades del suelo fueron analizadas con análisis de varianza. La emergencia y supervivencia de plantas y la altura de plantas fueron analizadas con ocho repeticiones debido a que estos muestreos no son destructivos, mientras que las variables de biomasa aérea y de raíz, longitud de raíz y las propiedades del suelo fueron analizadas con tres repeticiones por ser muestreos destructivos con alta inversión de tiempo y para reducir los costos de análisis de suelos.



Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk (1965) para revisar la normalidad de los errores experimentales y la prueba de Tukey (Kirk, 1982) para realizar la separación de medias de tratamientos cuando se encontraron efectos significativos.

## Resultados y discusión

**Emergencia y supervivencia.** La emergencia del zacate banderilla fue influenciada solamente por la dosis de biosólidos ( $P \leq 0.0001$ ). La emergencia de plántulas mostró una tendencia lineal negativa, disminuyendo al incrementarse la dosis de biosólidos (Figura 1). Los datos presentados en esta figura son porcentajes convertidos de los valores observados. La máxima emergencia fue de 88.3% en el control y la mínima con 14.5% en la dosis de 50 t.ha<sup>-1</sup>. Al igual que la emergencia, la supervivencia de plántulas de zacate banderilla fue afectada por la dosis de biosólidos ( $P \leq 0.0001$ ). La supervivencia de las plántulas disminuyó al aumentar la dosis de biosólidos (Figura 1).

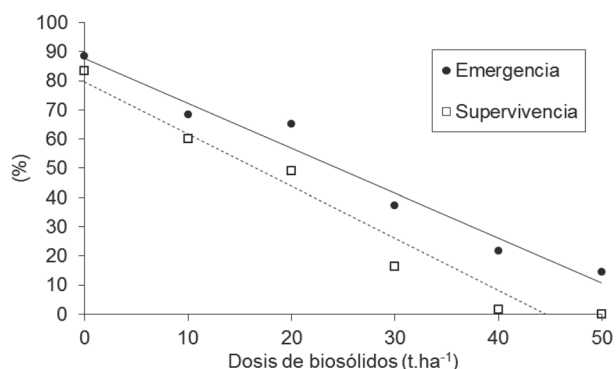
Considerando que el crecimiento óptimo de gramíneas como el maíz, trigo, cebada y zacate azul de Kentucky (*Poa pratensis*) se encuentra en el rango de un pH del suelo de 5.5-6.5 (Tisdale *et al.*, 1993) y que el aumento de la salinidad del suelo afecta el crecimiento de las plantas (Kramer, 1983; Hillel, 1998), la disminución de la emergencia y supervivencia del zacate banderilla podría atribuirse parcialmente a la disminución del pH del suelo en el método BIOSUP y al incremento de la salinidad del suelo en el método BIOINC, sobre todo en las dosis altas. Además, las dosis altas de biosólidos aplicadas superficialmente pudieron haber obstruido físicamente la emergencia de los zacates, ya que los biosólidos forman una capa gruesa y una cobertura alta en las dosis de 40 a 50 t.ha<sup>-1</sup>.

Estos resultados concuerdan con investigaciones realizadas bajo condiciones de invernadero, donde se reporta un efecto negativo de la aplicación de biosólidos en la

germinación de gramíneas como el ballico perenne y mijo común (Banks *et al.*, 2006; Zubillaga y Lavado, 2006). Ellos atribuyeron estos resultados negativos al incremento de la conductividad eléctrica del extracto/suelo con la aplicación de biosólidos, lo cual también pudo haber sucedido en este trabajo. La disminución del pH del suelo con la aplicación de biosólidos en este trabajo y otros similares (Fresquez *et al.*, 1990; Jurado *et al.*, 2006a), también pudiera haber tenido una influencia negativa en la emergencia del zacate banderilla.

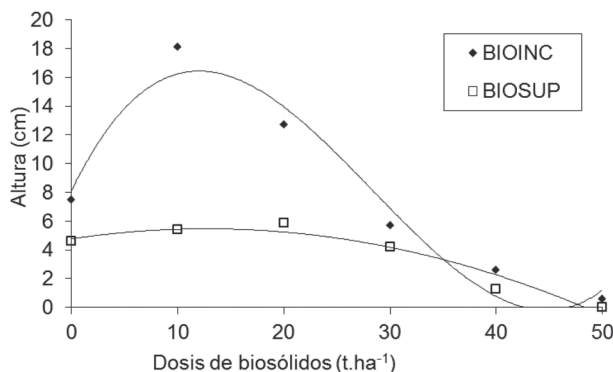
Domínguez-Caraveo *et al.* (2010) reportan tendencias similares en emergencia de zacate navajita bajo condiciones similares, aunque con valores más bajos. En ese mismo trabajo, se encontró que la supervivencia del zacate navajita fue afectada por la interacción dosis x método de aplicación de biosólidos, mientras que en este trabajo la supervivencia del zacate banderilla sólo fue afectada por la dosis de biosólidos. Sin embargo, las tendencias fueron similares, observándose una disminución de la supervivencia del zacate banderilla con el incremento en la dosis de biosólidos. Por lo contrario, en un trabajo de invernadero pero sin limitante de humedad no se reporta disminución en la emergencia de zacates banderilla y gigante con la aplicación superficial de biosólidos hasta 34 t.ha<sup>-1</sup> (Hahm y Wester, 2004).

**Figura 1.** Emergencia (%) y supervivencia (%) de zacate banderilla con diferentes dosis de biosólidos bajo condiciones de invernadero. ( $Y_{\text{Emergencia}} = 87.571 - 1.5362x$ ;  $r^2=0.96$ ;  $n=16$ ;  $Y_{\text{Supervivencia}} = 79.651 - 1.7838x$ ;  $r^2=0.95$ ;  $n=16$ ).



**Altura y biomasa aérea.** La altura del zacate banderilla fue influenciada por la dosis de aplicación ( $P \leq 0.0001$ ), el método de aplicación ( $P \leq 0.0001$ ) y por la interacción dosis x método de aplicación de biosólidos ( $P \leq 0.0002$ ) (Figura 2). En términos generales, la altura del zacate banderilla fue similar entre dosis de biosólidos con BIOSUP; sin embargo, con BIOINC, se observó un ligero incremento con las dosis de 10 y 20 t.ha<sup>-1</sup>. La biomasa aérea fue influenciada por la dosis ( $P \leq 0.0001$ ), el método ( $P \leq 0.0001$ ) y la interacción dosis x método de aplicación ( $P \leq 0.0001$ ) (Figura 3). El valor más alto fue de 45.4 mg pl<sup>-1</sup> en la dosis de 10 t.ha<sup>-1</sup> con BIOINC, disminuyendo hasta 8.0 mg pl<sup>-1</sup> en el testigo. Por otro lado, los valores de biomasa más bajos fueron en las dosis altas, 40 y 50 t.ha<sup>-1</sup> en ambos métodos de aplicación.

**Figura 2.** Altura (cm) de zacate banderilla con diferentes dosis y dos métodos de aplicación de biosólidos bajo condiciones de invernadero. (BIOINC=Biosólidos incorporados al suelo; BIOSUP=Biosólidos aplicados en la superficie del suelo;  $Y_{BIOINC} = 8.1167 + 1.5228x - 0.0804x^2 - 0.0009x^3$ ;  $r^2=0.95$ ;  $n=8$ ;  $Y_{BIOSUP} = 4.775 + 0.1095x - 0.0043x^2$ ;  $r^2=0.94$ ;  $n=8$ ).

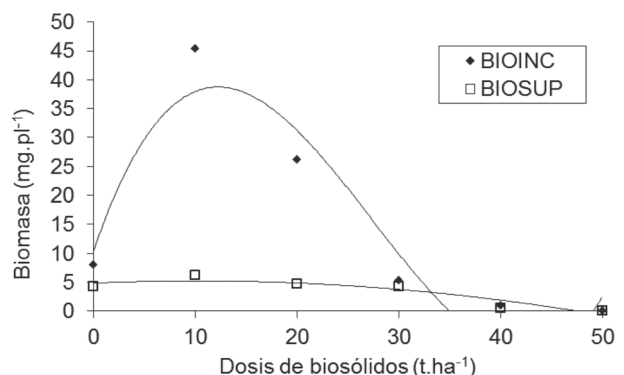


El incremento en altura y biomasa aérea de zacate banderilla en dosis bajas con BIOINC podría atribuirse a la mayor disponibilidad de humedad en el suelo con biosólidos, como se ha reportado en diferentes trabajos de invernadero (Hahm y Wester, 2004; Domínguez-Caraveo *et al.*, 2010) y de campo (Moffet *et al.*, 2005; Jurado *et al.*, 2007). Además, el incremento de los nutrimentos del suelo como el N y P con la aplicación de

biosólidos, como se observó en este trabajo y en otros estudios (Jurado *et al.*, 2006a; Jurado-Guerra *et al.*, 2006b), podría también haber contribuido a mejorar las condiciones de crecimiento de las plantas de banderilla. En las dosis altas de biosólidos, la altura y biomasa aérea pudieron haber sido afectadas por las condiciones de bajo pH y alta CE del suelo, lo cual ha sido reportado como condiciones inadecuadas para el crecimiento de plantas. Los resultados de este trabajo indican que las plántulas de zacate banderilla pudieron tener una sensibilidad más alta a las dosis altas de biosólidos que las plantas maduras, como se ha observado en otros estudios.

Hahm y Wester (2004) también observaron un comportamiento similar de los zacates navajita y gigante, donde la altura de plántulas fue similar entre el testigo y la dosis de 34 t.ha<sup>-1</sup> con biosólidos aplicados en forma superficial. Sin embargo, en zacates establecidos o maduros se reportan incrementos lineales de altura con la aplicación superficial de biosólidos (Benton y Wester, 1998; Jurado *et al.*, 2006a).

**Figura 3.** Biomasa aérea (mg.planta<sup>-1</sup>) de zacate banderilla con diferentes dosis y métodos de aplicación de biosólidos bajo condiciones de invernadero ( $Y_{BIOINC} = 10.456 + 5.124x - 0.27x^2 + 0.0033x^3$ ;  $r^2=0.89$ ;  $n=3$ ;  $Y_{BIOSUP} = 4.8257 + 0.0763x - 0.0037x^2$ ;  $r^2=0.87$ ;  $n=3$ ).



Resultados similares se han observado en dosis de hasta 45 t.ha<sup>-1</sup> en pastizales de zonas áridas y semiáridas con la biomasa de zacates navajita, toboso y zacatón alcalino (Benton y

Wester, 1998; Jurado *et al.*, 2007; Domínguez-Caraveo *et al.*, 2010). En trabajos con biosólidos en pastizales, pero en condiciones de campo, se ha reportado que la producción de biomasa muestra una tendencia positiva en dosis de 34 hasta 90 t.ha<sup>-1</sup> (Jurado y Wester, 2001; Jurado *et al.*, 2006a) en pastizales áridos y semiáridos con plantas maduras.

**Longitud y Biomasa de Raíz.** La longitud de la raíz fue afectada por la dosis de biosólidos ( $P \leq 0.0001$ ) (Cuadro 2) y por el método de aplicación de biosólidos ( $P \leq 0.0013$ ), mientras que la interacción de dosis x método no presentó efecto significativo ( $P \geq 0.5633$ ). Con respecto a la dosis de aplicación, la longitud de raíz fue similar entre el testigo y las dosis bajas y disminuyó con las dosis altas. En el método de aplicación BIOINC presentó un promedio de 5.3 cm de longitud de raíz, y BIOSUP con un promedio de 2.8 cm de longitud de raíz. En la biomasa de la raíz se observó una tendencia similar a la mostrada por la biomasa aérea, encontrándose efectos significativos de la dosis ( $P \leq 0.0008$ ), el método de aplicación ( $P \leq 0.0040$ ) y una interacción significativa ( $P \leq 0.0027$ ) entre la dosis y el método de aplicación de biosólidos (Cuadro 2). Los valores más altos fueron 11.8 mg. planta<sup>-1</sup> en la dosis de 10 t.ha<sup>-1</sup> y 2.2 mg.planta<sup>-1</sup> para la dosis de 20 t.ha<sup>-1</sup> en el método BIOINC, comparadas con el testigo de 2.0 mg.planta<sup>-1</sup>; las dosis altas y el método BIOSUP produjeron valores más bajos. Los resultados tan variables en biomasa y longitud de raíz pueden ser atribuidos parcialmente a los efectos tan variables observados en las propiedades de suelo con la aplicación de biosólidos. El mayor crecimiento de la raíz fue observado en la dosis baja de 10 t.ha<sup>-1</sup> con el método BIOINC se puede atribuir a las condiciones óptimas tales como pH cerca del neutro, baja CE del suelo y alto contenido de nutrimentos del suelo como N y P, además de una mayor disponibilidad de agua con los biosólidos como ha sido reportado en diferentes estudios. Por el contrario, el bajo crecimiento de raíces en las dosis altas de biosólidos en ambos métodos de aplicación se puede atribuir

a la alta sensibilidad del zacate banderilla a los efectos negativos de las dosis altas de biosólidos, tales como una disminución del pH del suelo en el método BIOSUP y alta CE del suelo.

Estos resultados concuerdan con el trabajo reportado por Mata-González *et al.* (2002) donde se observó una reducción en la biomasa de raíz con biosólidos aplicados superficialmente en zacate toboso trasplantado bajo condiciones de invernadero. También los resultados de Hahm y Wester (2004) muestran una reducción en longitud de raíz con la aplicación superficial de biosólidos en plántulas de zacate gigante en invernadero, aunque en plántulas de zacate navajita no hubo diferencia. En relación a esto, Chapin (1991) establece que, en general, las plantas sin estrés muestran un menor crecimiento de raíces, puesto que no necesitan mayor volumen para satisfacer sus necesidades.

**Cuadro 2.** Biomasa (mg.planta<sup>-1</sup>) y longitud de raíz (mm) (media  $\pm$  error estándar) de zacate banderilla con diferentes dosis y métodos de aplicación de biosólidos bajo condiciones de invernadero.

Dosis (t.ha <sup>-1</sup> )	Biomasa raíz (mg.pl <sup>-1</sup> , n=3)		Longitud raíz, n=6 (mm)
	BioInc*	BioSup*	
0	2.0 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	1 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	5.5 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>
10	11.8 $\pm$ 2.3 <sup>a</sup>	0.9 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	7.5 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>
20	2.2 $\pm$ 0.5 <sup>b</sup>	0.6 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	5.7 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>
30	1.9 $\pm$ 0.9 <sup>b</sup>	0.6 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	4.5 $\pm$ 1.7 <sup>a</sup>
40	0.06 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.3 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	0.8 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>
50	0.06 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.0 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	0.2 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>

\*BioInc=Biosólidos incorporados al suelo; BioSup=Biosólidos aplicados en forma superficial. Medias con literales iguales dentro de columnas son similares estadísticamente ( $P \geq 0.05$ ).

**Propiedades del suelo.** El pH del suelo fue influenciado por el método de aplicación de biosólidos ( $P \leq 0.0001$ ) y la interacción dosis x método ( $P \leq 0.0001$ ) (Cuadro 3), mientras que la dosis de aplicación no tuvo efecto significativo ( $P \geq 0.6768$ ). El pH del suelo permaneció similar

entre las dosis en el método BIOINC, disminuyendo a medida que se incrementa la dosis en el método BIOSUP. La CE del suelo fue influenciada por la dosis de aplicación ( $P \leq 0.0001$ ), el método de aplicación ( $P \leq 0.0001$ ) y la interacción dosis x método de aplicación de biosólidos ( $P \leq 0.0007$ ) (Cuadro 3). Para la CE del suelo, los valores más altos se presentaron con las dosis altas de biosólidos en el método BIOINC, mientras que no hubo diferencias entre las dosis en el método BIOSUP. Además, el fósforo ( $P \leq 0.0001$ ) y la materia orgánica ( $P \leq 0.0001$ ) del suelo fueron influenciados solamente por la dosis de biosólidos (Cuadro 3), mientras que las interacciones dosis x método no fueron significativas ( $P \geq 0.1556$  y  $P \geq 0.0673$ ). El P del suelo se incrementó con la aplicación de biosólidos, principalmente en las dosis altas desde 20 hasta 50 t.ha<sup>-1</sup>; mientras que la MO del suelo sólo se incrementó en la dosis de 50 t.ha<sup>-1</sup> comparado con el testigo.

**Cuadro 3.** Propiedades químicas del suelo (media  $\pm$  error estándar) con diferentes dosis y métodos de aplicación de biosólidos bajo condiciones de invernadero.

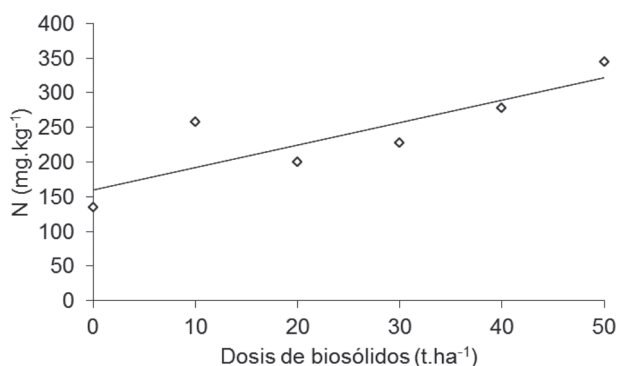
Dosis (t.ha <sup>-1</sup> )	pH (n=3)		CE* (dS.m <sup>-1</sup> , n=3)		P* (n=6) (mg.kg <sup>-1</sup> )	MO* (n=6) (%)
	BioInc*	BioSup*	BioInc	BioSup		
0	5.6 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	5.6 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	1.18 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>	1.60 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	11 $\pm$ 6 <sup>b</sup>	0.48 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>
10	5.6 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	5.2 $\pm$ 0.0 <sup>ab</sup>	2.58 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	1.59 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	33 $\pm$ 26 <sup>ab</sup>	0.55 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>
20	5.9 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	5.2 $\pm$ 0.0 <sup>ab</sup>	2.66 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	1.72 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	40 $\pm$ 30 <sup>a</sup>	0.55 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>
30	6.2 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	4.8 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	2.63 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	1.94 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	39 $\pm$ 26 <sup>a</sup>	0.45 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>
40	6.2 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	4.9 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	3.40 $\pm$ 0.3 <sup>ab</sup>	2.20 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	33 $\pm$ 16 <sup>ab</sup>	0.73 $\pm$ 0.2 <sup>ab</sup>
50	6.2 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	4.8 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	3.70 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	2.41 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	37 $\pm$ 19 <sup>a</sup>	0.87 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>

\*CE=Conductividad Eléctrica; P=Fósforo; MO=Materia Orgánica; BioInc=Biosólidos incorporados al suelo; BioSup=Biosólidos aplicados en forma superficial. Medias con literales iguales dentro de columnas son similares estadísticamente ( $P \geq 0.05$ ).

El potasio del suelo no fue influenciado ( $P \geq 0.1047$ ) por la aplicación de biosólidos, con un promedio de 372 mg.kg<sup>-1</sup>. La Figura 4 muestra el efecto de los biosólidos sobre el contenido de nitrógeno, observándose un efecto significativo ( $P \leq 0.0001$ ) de la dosis de biosólidos, mientras que la interacción dosis x método no fue significativa ( $P \geq 0.8139$ ). La

disminución del pH, el aumento de la CE del suelo y el aumento de nutrientes del suelo con la aplicación de biosólidos, son el resultado de los procesos de descomposición microbial de la materia orgánica de los biosólidos. Algunos autores (Tisdale *et al.*, 1993; Brady y Weil, 1996) reportan que la adición de materiales orgánicos al suelo promueve la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos del suelo, resultando en la generación de diferentes compuestos y sustancias tales como H<sup>+</sup>, CO<sub>2</sub>, nitratos, fosfatos y otros derivados de la materia orgánica.

**Figura 4.** Contenido de nitrógeno en el suelo a los 30 días después de la siembra de zacate banderilla con diferentes dosis de biosólidos bajo condiciones de invernadero. ( $Y=159.57 + 3.2371x$ ;  $r^2=0.72$ ;  $n=6$ ).



Resultados similares sobre el pH, la CE y algunos nutrientes del suelo como P y N se han observado en trabajos de campo con aplicaciones superficiales de biosólidos en pastizales (Jurado *et al.*, 2006a; Jurado *et al.*, 2007). Otro estudio de campo reporta incrementos similares en la CE del suelo y elementos disponibles como el nitrógeno y fósforo, aunque el pH y la MO permanecieron similares con aplicaciones superficiales de biosólidos en un pastizal semiárido de España (Martínez *et al.*, 2003). La incorporación al suelo de los biosólidos tuvo un efecto más notorio que la aplicación superficial sobre algunas variables, lo cual se atribuye a que los biosólidos estuvieron en contacto directo con el suelo, por lo tanto, los procesos de descomposición



fueron más rápidos. En un trabajo similar, la incorporación de biosólidos al suelo en condiciones de invernadero con zacate navajita mostró resultados similares en CE del suelo, nitrógeno disponible y MO del suelo y un poco diferentes en pH, fósforo y potasio (Domínguez-Caraveo *et al.*, 2010), mientras que algunos resultados con la incorporación de biosólidos al suelo en cultivos como maíz forrajero (Uribe *et al.*, 2003) reportan incrementos en nitrógeno del suelo.

Aun cuando los biosólidos inhibieron la emergencia y supervivencia del zacate banderilla, es importante señalar que las dosis bajas de biosólidos (10 y 20 t.ha<sup>-1</sup>) produjeron plántulas más grandes y pesadas que el testigo. Lo anterior es importante, ya que el tamaño de plántulas y raíz es primordial para el establecimiento de zacates nativos en pastizales (Ries y Svejcar, 1991). Por lo anterior, sería mejor tener pocas plántulas de buen tamaño con dosis bajas de biosólidos que un mayor número de plantas con menor talla y peso con el testigo, ya que las primeras tienen más probabilidades de sobrevivir el invierno y la sequía durante el primer año de crecimiento. Briske y Wilson (1978) coinciden que el establecimiento de las plántulas de zacate navajita depende del crecimiento de la raíz, lo cual también podría aplicarse a otros zacates como el banderilla. De acuerdo con Booth y Haferkamp (1995) la supervivencia de las plántulas dependerá del aporte continuo de recursos durante la etapa de crecimiento. Lo anterior es más factible con la aplicación de biosólidos, ya que como se observó en este trabajo y en otros similares, los biosólidos tienen el potencial de incrementar la humedad y algunos nutrientes esenciales para las plantas como el N y el P del suelo.

Los biosólidos son un recurso por su contenido de materia orgánica y nutrientes, los cuales pueden ser aprovechados como abono orgánico en pastizales, bosques y agricultura, ya que mejora la fertilidad del suelo, como ha sido demostrado en diversos estudios (Figuroa *et al.*, 2002; Uribe *et al.*, 2003; Jurado *et al.*, 2007). Además, el aprovechamiento de biosólidos como

abono orgánico es más recomendable que la disposición de biosólidos en rellenos sanitarios o la incineración (Tisdale *et al.*, 1993), opciones que actualmente se están desarrollando. Aunado a esto, la aplicación de biosólidos en agricultura podría incrementarse en respuesta al incremento en la generación de biosólidos, en concordancia con el aumento en el tratamiento de aguas residuales impulsado por el gobierno federal mexicano.

## Conclusiones

La emergencia y supervivencia del zacate banderilla disminuyeron ligeramente con la aplicación de biosólidos en dosis de 10 a 20 t.ha<sup>-1</sup> en ambos métodos de aplicación, mientras que las dosis altas de 30 a 50 t.ha<sup>-1</sup> en ambos métodos de aplicación inhibieron en forma considerable la emergencia y supervivencia de zacate banderilla.


El crecimiento del zacate banderilla fue favorecido con la aplicación de biosólidos en dosis de 10 a 20 t.ha<sup>-1</sup>, sobre todo en el método de aplicación incorporado, mientras que las dosis altas de 40 a 50 t.ha<sup>-1</sup> en ambos métodos de aplicación afectaron negativamente el crecimiento del zacate banderilla.

El uso de biosólidos en dosis bajas tiene potencial para mejorar el establecimiento de especies nativas como el zacate banderilla en condiciones de sequía, sin embargo, es recomendable evaluar el uso de biosólidos en condiciones de campo.

## Agradecimientos

Se agradece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el apoyo financiero para la realización de esta investigación como parte del Proyecto «REHABILITACIÓN DE PASTIZALES DEGRADADOS CON EL USO DE BIOSÓLIDOS Y SIEMBRA DE ZACATES NATIVOS EN ZONAS SEMIÁRIDAS» con PRECI 1246110P. También se agradece al Dr. José Luis Ibañez por permitirnos el uso del invernadero en la Universidad Autónoma de Chihuahua y al Dr. Jorge Jiménez Castro por su ayuda en el análisis estadístico de datos.

## Literatura citada

- BANKS, M.K., A.P. Schwab, N. Cofield and J.E. Alleman. 2006. Biosolids-amended soils: Part I. Effect of biosolids application on soil quality and ecotoxicity. *Water Environment Research* 78: 2217-2231.
- BENTON, M.W. and D.B. Wester. 1998. Biosolids effects on tobosagrass and alkali sacaton in a Chihuahuan desert grassland. *Journal of Environmental Quality* 27: 199-208.
- BOOTH, D.T. and M.R. Haferkamp. 1995. Morphology and seedling establishment. In: D.J. Bedunah and R.E. Sosebee (eds.). *Physiological Ecology and Developmental Morphology. Society for Range Management, Denver*, pp. 239-290.
- BRADY, N.C. and R.R. Weil. 1996. The nature and properties of soils, eleventh ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- BRISKE, D.D. and A.M. Wilson. 1978. Moisture and temperature requirements for adventitious root development in blue grama seedlings. *Journal of Range Management* 31: 174-178.
- CHAPIN, F.S. 1991. Effects of multiple environmental stresses on nutrient availability and use, in: Mooney, H.A., Winner, W.E., Pell, E.J. (Eds.), *Response of plants to multiple stresses*. Academic Press, San Diego, pp. 67-88.
- COTECOCA (Comisión Técnico Consultiva para la determinación de los Coeficientes de Agostadero). 1979. Chihuahua. SARH. México, D.F. 234 p.
- COX, J.R., M. Martin, F. Ibarra and H. Morton. 1986. Establishment of range grasses on various seedbeds at creosotebush sites in Arizona and Chihuahua, Mexico. *Journal of Range Management* 39: 540-546.
- DOMÍNGUEZ-CARAVEO, H., P. Jurado y A. Melgoza-Castillo. 2010. Emergence and survival of blue grama with biosolids under greenhouse conditions. *Journal of Arid Environments* 74: 87-92.
- ESQUEDA, C.M.H., A. Melgoza, M. Sosa, R. Carrillo y J. Jiménez. 2005. Emergencia y sobrevivencia de gramíneas con diferentes secuencias de humedad en tres tipos de suelo. *Técnica Pecuaria en México* 43: 101-115.
- ESQUEDA, C.M.H., S. Echavarría, J.S. Santos, P. Jurado y R. Escobar. 2004. Tecnología para el establecimiento de gramíneas en áreas de agricultura marginal. Publicación Técnica #1. INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental La Campana. 13 pp.
- FIGUEROA, V.U., M.A. Flores y M. Palomo. 2002. Uso de biosólidos en suelos agrícolas. Folleto técnico No.3. Campo Exp. Valle de Juárez. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC.
- FRESQUEZ, P.R., R.E. Francis y G.L. Dennis. 1990. Soil and vegetation responses to sewage sludge on a degraded semiarid broom snakeweed-blue grama plant community. *Journal of Range Management* 43: 325-331.
- HAHM, J.M. y D.B. Wester. 2004. Effects of surface-applied biosolids on grass seedling emergence in the Chihuahuan desert. *Journal of Arid Environments* 58: 19-42.
- HILLEL, D. 1998. *Environmental Soil Physics*, second ed. Academic Press, San Diego, CA.
- JURADO, P. and D.B. Wester. 2001. Effects of biosolids on tobosagrass growth in the Chihuahuan desert. *Journal of Range Management* 54: 89-95.
- JURADO, G.P., M. Luna, R. Barretero, M. Royo y A. Melgoza. 2006a. Producción y calidad de forraje y semilla del zacate navajita con la aplicación de biosólidos en un pastizal semiárido de Jalisco. *Técnica Pecuaria en México* 44: 289-300.
- JURADO-GUERRA, P., D.B. Wester and E. B. Fish. 2006b. Soil nitrate nitrogen dynamics after biosolids application in a tobosagrass desert grassland. *Journal of Environmental Quality* 35: 641-650.
- JURADO, P., T. Arredondo, E. Flores, V. Olalde y J. Frias. 2007. Efecto de los biosólidos sobre la humedad y nutrientes del suelo y producción de forraje en pastizales semiáridos. *Terra Latinoamericana* 25: 211-218.
- KIRK, R. 1982. *Experimental Design*, second ed. Brooks/Cole, Monterey, CA.
- KRAMER, J.P. 1983. *Water Relations of Plants*, first ed. Academic Press, San Diego, CA.
- MARTÍNEZ, F., G. Cuevas, R. Calvo and I. Walter. 2003. Biowaste on soil and native plants in a semiarid ecosystem. *Journal of Environmental Quality* 32: 472-479.
- MATA-GONZÁLEZ, R., R.E. Sosebee and C. Wan. 2002. Shoot and root biomass of desert grasses as affected by application of biosolids. *Journal of Arid Environments* 50: 477-488.
- MEDINA, G., G. Díaz, M. Berzoza, M. Silva, A.H. Chávez y A.D. Báez. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Chihuahua. Libro Técnico No. 1. INIFAP-SAGARPA.
- MOFFET, C.A., R.E. Zartman, D.B. Wester and R.E. Sosebee. 2005. Surface biosolids application: Effects on infiltration, erosion, and soil organic carbon in Chihuahuan desert grasslands and shrublands. *Journal of Environmental Quality* 34: 299-311.
- MORALES, N.C.R. 2001. Establecimiento de pastos en agostaderos utilizando obras para captar agua de lluvia. Folleto Técnico Núm. 6. Campo Experimental La Campana-INIFAP-SAGARPA.
- MORALES, N.C. y A. Melgoza C. 2010. Características productivas de zacates forrajeros importantes en el norte de México. Folleto Técnico 28. INIFAP-CIRNOC-Sitio Exp. La Campana-Madera. 51 pp.
- RIES, R.E. and T.J. Svejcar. 1991. The grass seedling: when is it established? *Journal of Range Management* 44 : 574-576.
- SAS, 2005. *SAS User's guide for linear models*. SAS Institute Inc., Cary.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección Ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. [www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/pages/normasoficialesmexicanasvigentes](http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/pages/normasoficialesmexicanasvigentes). (accesado Mayo 2011).
- SHAPIRO, S.S. and M.B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52: 591-611.
- TISDALE, S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton and J.L. Havlin. 1993. *Soil fertility and fertilizers*, fifth ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- URIBE, M.H.R., N. Chávez S., G. Orozco H. y M.S. Espino V. 2003. Biosólidos digeridos anaeróbicamente en la producción de maíz forrajero. *Agricultura Técnica en México* 29: 25-34.
- ZUBILLAGA, M.S. and R.S. Lavado. 2006. Phytotoxicity of biosolids compost at different degrees of maturity compared to biosolids and animal manures. *Compost Science & Utilization* 14: 267-271. 

Este artículo es citado así:

Jurado-Guerra, P., H. Domínguez-Caraveo, A. Melgoza-Castillo y C. Morales-Nieto. 2012: *Emergencia y crecimiento del zacate banderilla [Bouteloua curtipendula (Michx.) Torr.] con biosólidos en condiciones de sequía*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 6(1): 57-67.

## Resúmenes curriculares de autor y coautores

**PEDRO JURADO GUERRA.** Terminó su licenciatura en 1985, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Zootecnista por la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en Estados Unidos, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Ciencias de Pastizales en 1996 por la Texas Tech University, y el grado de Doctor en Filosofía en el área de Ciencias de Pastizales en 2000 por la Texas Tech University. Desde 1985 labora en el INIFAP y posee la categoría de Investigador Titular C. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2001 a la fecha. Su área de especialización es el manejo de pastizales, con énfasis en rehabilitación de pastizales y almacén/captura de carbono en pastizales. Ha dirigido 2 tesis de licenciatura, 4 de maestría y 2 de doctorado. Es autor/coautor de aproximadamente 20 artículos científicos, más de 50 ponencias en congresos nacionales e internacionales, y 2 capítulos de libros técnico-científicos; ha dirigido 5 proyectos de investigación sobre conservación, rehabilitación y manejo de pastizales. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales) y Fundaciones Produce. Es árbitro de revistas científicas a nivel nacional (Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias) e internacional (Rangeland Ecology and Management). Es miembro de la Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales (SOMMAP), el Colegio Nacional de Ingenieros Zootecnistas y la Society for Range Management. Es Presidente del grupo Colegiado del Campo Experimental La Campana-INIFAP. Es líder nacional del Programa de Investigación de Pastizales y Forrajes del INIFAP. Integrante del Cuerpo Académico No. 16 «Recursos Naturales y Ecología» de la UACH. Pertenece al Grupo de Expertos en Pastizales de la Comisión para la Cooperación Ambiental.

**HÉCTOR DOMÍNGUEZ CARAVEO.** Obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista en 1980 por la Escuela Superior de Agricultura de la Universidad Autónoma de Chihuahua. En la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua realizó estudios de posgrado obteniendo en el año 2000 el grado de Maestro en Ciencias en el área de Manejo de Pastizales y Ecología, y en 2008 el grado de Doctor en Filosofía en área de Manejo de Recursos Naturales. Desde 1979 ha desempeñado diversas labores dentro de la Secretaría de Educación Pública, y desde 1992 está adscrito al Centro de Investigación para los Recursos Naturales, ubicado en Saltaicos, Chih.; del cual fue director fundador, también se ha desempeñado dentro de ese Centro de Investigación como Subdirector de Investigación y actualmente funge como Subdirector Técnico. Se ha especializado en estudios de la flora nativa de una porción del «Desierto Chihuahuense». Ha participado como ponente 28 congresos nacionales y 3 internacionales. Ha dirigido 25 proyectos de investigación y transferencia de tecnología financiados por diferentes fuentes.

**ALICIA MELGOZA CASTILLO.** Terminó su licenciatura en 1977, año en que le fue otorgado el título de Biólogo por la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Realizó su posgrado en EUA, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Manejo de Pastizales en 1985 por la Universidad de Arizona y el grado de Doctor en Filosofía en el área de Ecología de Pastizales en 1995 por la Universidad Estatal de Nuevo Mexico. De 1978 al 2007 laboró en el Campo Experimental La Campana del INIFAP. A partir del 2007 ha estado trabajando en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la UACH y posee la categoría de Académico titular C. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1990 (candidato 1990-1996; Nivel 1 2006-2009). Su área de especialización está relacionada con taxonomía y ecofisiología de plantas nativas. Ha dirigido 12 tesis de licenciatura, 7 de maestría y 3 de doctorado. Es autora de aproximadamente 50 artículos científicos, más de 100 ponencias en congresos, 4 capítulos de libros científicos y 1 libro; además ha dirigido 10 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluadora de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales) y Fundación Produce Chihuahua y es árbitro de revistas científicas de circulación nacional e internacional.

**CARLOS RAÚL MORALES NIETO.** Ingeniero Zootecnista egresado en 1982 de la Facultad de Zootecnia (UACH) con doctorado en el Colegio de Posgraduados en 2006, Texcoco, Edo. México. Investigador en Manejo de Pastizales, Recursos Genéticos y Biotecnología en el Campo Experimental Campana-Madera de 1982 a la fecha, INIFAP. Integrante del Cuerpo Académico No. 16 «Recursos Naturales y Ecología» de la UACH. Investigador nacional Nivel I (SNI). Autor de 11 artículos científicos y siete como coautor. Dos libros técnicos y participación en ocho capítulos de libros, 58 resúmenes científicos nacionales, 29 resúmenes científicos internacionales, 22 resúmenes científicos en publicaciones especiales, ponente en 42 congresos, simposios o reuniones científicas, autor de nueve diagnósticos descriptivos, participación como instructor en 38 cursos cortos a profesionistas y en 27 cursos cortos a productores, autor de 14 folletos técnicos y 10 como colaborador. Asesor de ocho tesis concluidas y cinco en proceso. Participación en 18 conferencias sobre pastizales, forrajes y recursos genéticos. Participación en 30 revistas divulgativas con temas de manejo de pastizales, forrajes y recursos genéticos. Líneas de investigación enfocadas a la caracterización morfológica y molecular de recursos genéticos, manejo y conservación de los recursos genéticos. Actualmente, Líder Nacional del Programa de investigación en Recursos Genéticos Forestales, Agrícolas, Pecuarios y Microbianos. Revisor del Comité Evaluador de la Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, Revisor del Comité Evaluador de la Revista Colombiana de Biotecnología, Miembro del Registro de CONACYT de Evaluadores Acreditados. Área. Biotecnología, Miembro del Cuerpo Colegiado Nacional del INIFAP y del Campo Experimental Campana-Madera y Evaluador de Proyectos de Investigación de la Fundación Produce Chihuahua.

# Guía para autores de escritos científicos

## Política editorial

Son bienvenidos manuscritos originales e inéditos de tipo científico, tecnológico o humanístico, los cuales deberán estar escritos con un lenguaje accesible a lectores con formación profesional, atendiendo a los principios de precisión, lógica y claridad. Todo manuscrito recibido es revisado en primera instancia por el Comité de Editores Asociados, para asegurar que cumpla con el formato y contenido establecido por las normas editoriales de *TECNOCIENCIA Chihuahua*. Una vez revisado, los editores asociados determinarán su viabilidad para ser publicado; enseguida, se regresa al autor responsable para que incorpore las observaciones y sea editado. Posteriormente, es sometido a un estricto arbitraje bajo el sistema de doble ciego, realizado por al menos dos especialistas en el área del conocimiento en cuestión. Los evaluadores son reconocidos investigadores nacionales o internacionales, líderes en su campo, quienes en forma anónima determinarán si el artículo sometido es: a) aceptado para su publicación, b) condicionado a cambios menores para su publicación, c) condicionado a cambios mayores para su publicación o, d) rechazado.

Para la evaluación de escritos se aplican los criterios de: rigor científico, calidad y precisión de la información, relevancia del tema y la claridad del lenguaje. Los árbitros prestarán especial atención a la originalidad de los escritos, es decir, revisarán que el manuscrito sea producto del trabajo directo del autor o autores y que no haya sido publicado o enviado algo similar a otras revistas. Los artículos deben presentar: un análisis detallado de los resultados, así como un desarrollo metodológico original, una manipulación nueva del tema investigado, o ser de gran impacto social. Sólo serán aceptados trabajos basados en encuestas donde se incluyan mediciones, organización, análisis estadístico, prueba de hipótesis e inferencia sobre los datos obtenidos del estudio.

## Lineamientos generales

Se aceptan manuscritos originales e inéditos, producto de la creatividad del o los autores, cuyos resultados de investigación no hayan sido publicados parcial o totalmente (excepto como resumen de algún congreso científico), ni estén en vías de publicarse en otra revista (nacional o internacional) o libro. Para tal fin, el autor y coautores deberán firmar la carta de autoría, donde declaran que su trabajo no ha sido publicado o enviado para su publicación simultáneamente a otra revista; además, en dicho documento

señalarán estar de acuerdo en aceptar las normas y procedimientos establecidos por el Consejo Editorial Internacional de la *Revista TECNOCIENCIA Chihuahua*, especificando el nombre del investigador a quien se dirigirá toda correspondencia oficial (autor de correspondencia). Se aceptan artículos en español o inglés, sin embargo, tanto el título como el resumen deberán escribirse en ambos idiomas. El contenido puede ser cualquier tema relacionado con algunas de las áreas del conocimiento definidas previamente o que a juicio del Consejo Editorial Internacional pueda ser de interés para la comunidad científica.

El Comité Editorial del área a la que se envíe el manuscrito, revisará que los resultados obtenidos sean de impacto regional, nacional o internacional. Además, prestará atención a la metodología en la que se sustenta la información y que esta sea adecuada y verificable por otros investigadores. No se aceptarán artículos basados en pruebas de rutina, o cuyos resultados experimentales se obtuvieron sin un método estadístico apropiado.

Cuando un artículo presente resultados experimentales con un alcance limitado puede recomendarse su publicación como una Nota Científica. Reconocemos que una mejora de la calidad de la revista es responsabilidad tanto del Consejo Editorial Internacional como de los autores.



## Manuscritos

Se entregarán dos copias impresas y una versión electrónica del manuscrito. También podrán remitirse los manuscritos a la dirección electrónica de la revista (tecnociencia.chihuahua@uach.mx), pero la carta de presentación, firmada debidamente por los autores, deberá entregarse personalmente en las oficinas de la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chihuahua; también puede escanearse para su envío por correo electrónico o remitirse por FAX [(614) 439-1823]. Todo manuscrito deberá acompañarse con la carta de autoría firmada por todos los autores, cuyo formato es proporcionado por la revista. En la carta deberá indicarse el orden de coautoría y el nombre del autor de correspondencia con la revista, para facilitar la comunicación con el Editor en Jefe. Esta carta debe incluir datos completos de domicilio, número de fax y dirección electrónica.

## Formato

El manuscrito científico tendrá una extensión máxima de 25 cuartillas, incluyendo figuras y cuadros, sin considerar la página de presentación. Para su escritura se utilizará procesador Word 2003 o posterior, para Windows XP o versión más reciente; todo texto se preparará utilizando la fuente Arial en 12 puntos, escrito a doble espacio y numerando páginas, renglones, cuadros y figuras del documento para facilitar su evaluación. Utilizar un margen izquierdo de 3.0 cm y 2.0 cm para el resto. Se

recomienda no utilizar sangría al empezar cada párrafo del manuscrito. Los manuscritos de las diferentes categorías de trabajos que se publican en la revista deberán contener los componentes que a continuación se indican.

- a. Página de presentación.
- b. Resumen en español y palabras clave.
- c. Resumen en inglés (abstract) y palabras clave en inglés (keywords).
- d. Texto (capítulos y su orden).
- e. Agradecimientos (opcional).
- f. Literatura citada.

**Página de presentación.** No se numera y debe contener: a) Títulos en español e inglés, escritos en mayúsculas y minúsculas, letras negritas y centradas; b) Nombres de los autores en el orden siguiente: Nombres y apellidos de autor y coautores, uniendo con un guión el apellido paterno y materno de cada uno; incluir su afiliación institucional; c) Información completa (incluyendo teléfono, domicilio con el código postal y dirección electrónica), anotando departamento e institución a la que pertenece el autor y coautores; si el autor y coautores pertenecen a la misma institución, no es necesario numerarlos (ver ejemplo mostrado en el cuadro de texto). Como una norma general, el Editor en Jefe se dirigirá solamente al autor de correspondencia mencionado en la carta de autoría, y no se proporcionará información alguna a otra persona que lo solicite.

**Figura 1.** Ejemplo de una página de presentación de un manuscrito científico que incluye títulos, autores y coautores, así como nombre de institución de adscripción y datos generales para propósitos de comunicación.

### **Análisis de áreas deforestadas en la región centro-norte de la Sierra Madre Occidental de Chihuahua, México**

Deforest analysis areas in the north central region of the Sierra Madre

Occidental of Chihuahua, Mexico

Carmelo Pinedo-Álvarez<sup>1,3</sup>, Rey Manuel Quintana-Martínez<sup>1</sup>  
y Martín Martínez Salvador<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km 1 de la Carretera Chihuahua-Cuauhtémoc. Chihuahua, Chih., México, 31031. Tel. (614) 434-0303.

<sup>3</sup> Campo Experimental La Campana-Madera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Av. Homero 3744, Fracc. El Vergel. Chihuahua, Chih., México, 31100.

<sup>3</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: cpinedo@uach.mx.

**Título.** Es indicador del contenido del artículo, y si está escrito apropiadamente, facilitará indexarlo. Un buen título es breve (no más de 15 palabras), descriptivo e identifica el tema y propósito del estudio; al escribir el título debe elegirse palabras de gran impacto que revele la importancia del trabajo. Es recomendable evitar el uso de palabras o frases que tienen poco impacto y que no proporcionan información relevante sobre el contenido del estudio; por ejemplo: «*Estudio de . . . ; Influencia de la . . . , Efecto del . . . ; Relación de...*», entre otros.

**Resumen en español.** Al leer un resumen, el investigador puede reconocer el valor del contenido del escrito científico y decidir si lo revisa todo; por lo tanto, el resumen proporciona valiosa información del estudio. En la segunda página se debe incluir un resumen que no exceda 250 palabras. Aquí se indicarán la justificación y objetivos del estudio; una breve descripción de la metodología empleada; una descripción de los resultados más relevantes y presentar datos numéricos importantes (ejemplo: *se observó un incremento de 15 % en el rendimiento con la densidad de 60,000 plantas por ha*), y de ser posible, enfatizar el significado estadístico y escribir la conclusión general del trabajo.

**Palabras clave.** Después del resumen, en punto y aparte, escribir alfabéticamente de 4 a 6 palabras o frases cortas clave diferentes a las del título, que ayuden a indexar y clasificar el trabajo de acuerdo a su contenido. Las palabras se publicarán junto con el resumen. Los nombres de especies biológicas se escriben al principio de esta sección.

**Resumen en inglés (*abstract*).** Debe ser una traducción exacta del resumen en español, para ello es conveniente que los autores busquen la asesoría de profesionales de las ciencias que dominen el idioma inglés.

**Palabras clave en inglés (*keywords*).** Son las mismas palabras indicadas para el resumen en español que deberán ser traducidas al idioma inglés con la asesoría de un científico o técnico experto en la lengua.

**Texto (capítulos y su orden).** Existen diferencias en cuanto al contenido y estructura de cada una de las categorías de escritos científicos que son publicados en la revista. Las normas específicas para

cada categoría son descritas enseguida, y para aquellos escritos recibidos que no se ajusten a estos formatos, el Consejo Editorial decidirá si pueden enviarse para su revisión al Comité Editorial del área correspondiente.

## 1. Artículo científico

Trabajo completo y original, de carácter científico o tecnológico, cuyos resultados se obtuvieron de investigaciones conducidas por los autores en alguna de las seis áreas del conocimiento citadas inicialmente. El manuscrito científico se divide en los capítulos siguientes:

- Resumen y abstract
- Introducción
- Materiales y métodos
- Resultados y discusión
- Conclusiones
- Agradecimientos (opcional)
- Literatura citada

### Resumen y *abstract*

En una sección previa fueron descritas las normas editoriales para elaborar este elemento del escrito científico.

### Introducción

- a) Es importante resaltar el *tema* que trata la investigación. Se recomienda iniciar esta sección redactando una o dos oraciones de carácter universal, que sirva al investigador como argumento científico al describir su trabajo. A continuación se cita un artículo, cuyo título es: «Olor penetrante y azúcares de cultivares de cebolla de días cortos afectados por nutrición azufrada»; los autores empiezan con las oraciones siguientes:

«El sabor en la cebolla (*Allium cepa*) depende de hasta 80 compuestos azufrados, característicos del género *Allium*, además de varios carbohidratos solubles en agua. La intensidad del sabor es determinada por el genotipo de la variedad de cebolla y el ambiente en que se cultiva».

- b) También debe incluirse la *información previa y publicada* sobre el tema del estudio (*antecedentes*). Para orientar al lector es suficiente incluir referencias bibliográficas relevantes y recientes, en lugar de una revisión extensa de citas a trabajos viejos y de poca importancia sobre el tópico investigado. A continuación se presenta un ejemplo de cómo presentar cronológicamente las citas bibliográficas:

«La existencia de variación genética dentro de los cultivares de cebolla ha sido demostrada para intensidad de sabor y contenido total de azúcares (Darbyshire y Henry, 1999; Bajaj *et al.*, 2008; Randle, 2010b).

- c) *Problema a resolver*. Con una o dos oraciones especificar el problema abordado, justificar la realización del estudio, o bien, enunciar la hipótesis planteada por el investigador y cuya validez será probada por el experimento. Siguiendo con el ejemplo anterior, se presenta una breve descripción del problema estudiado:

«Se requiere un mayor conocimiento sobre características deseables, como el sabor intenso y contenido de carbohidratos solubles de la cebolla, que son afectadas por la interacción cultivar x niveles de fertilización azufrada»

- d) *Definición de los objetivos del estudio*. Aquí se enuncia brevemente hacia dónde se dirige la investigación, es decir, se describe la manera o el medio a través del cual se pretende examinar el problema definido o la pregunta planteada por el investigador. Esta parte de la introducción permitirá al lector ver si las conclusiones presentadas por el investigador son congruentes con los objetivos planteados al inicio del trabajo. Ejemplo:

«Los objetivos de esta investigación fueron: **Evaluar cultivares** de cebolla de fotoperiodo corto, caracterizadas por su poco sabor y bajo contenido de carbohidratos solubles en agua, con niveles bajos y altos de azufre y **determinar la asociación** de dichas características con la fertilización».

## Materiales y métodos

Debe responder a las preguntas: ¿Dónde? ¿Cuándo? ¿Cómo se hizo el trabajo? Puede incluir cuadros y figuras. El autor debe proporcionar información concisa, clara y completa, para que las técnicas y/o los procedimientos descritos así como las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo el estudio, puedan ser repetibles por otros investigadores competentes en el área (lugar, ciclo o etapa biológica, manejo del material biológico, condiciones ambientales, etc.).

Si un procedimiento es ampliamente conocido basta con citar a su(s) autor(es); sin embargo, cuando el método seguido ha sido modificado, deben proporcionarse detalles suficientes del mismo, así como de un diseño experimental inusual o de los métodos estadísticos aplicados para el análisis de los resultados (arreglo de tratamientos, diseño experimental, tamaño de la unidad experimental, variables de respuesta, proceso de muestreo para obtener los datos, análisis estadístico de los datos, técnica de comparación de medias, etc.). Es recomendable dar una descripción cronológica del experimento y de los pasos de la metodología aplicada.

Al describir los materiales, deben señalarse especificaciones técnicas, cantidades, fuentes y propiedades de los materiales indicando nombre y dirección del fabricante. Para el caso de material biológico, dar información suficiente de las características particulares de los organismos (edad, peso, sexo, etapa fenológica, etc.); es importante también identificar con precisión el género, especie y nombre del cultivar o raza utilizado en el estudio. Si se trata de material no vivo, por ejemplo suelo cultivado, proporcionar los datos taxonómicos para facilitar su identificación.

## Resultados y discusión

Los resultados derivados del estudio se distinguen porque: son presentados en forma de cuadros y figuras, analizados estadísticamente e interpretados, bajo la luz de la hipótesis planteada antes de iniciar la investigación. Es recomendable que el autor incluya un número óptimo de cuadros y figuras de buena calidad, que sean absolutamente necesarios y que sirvan como fundamento para mejorar la comprensión de los resultados y darle soporte a la hipótesis sometida a prueba.

Cada cuadro y figura debe numerarse; su título debe ser claro y descriptivo; los símbolos y abreviaturas incluidos deben ser explicados apropiadamente. Los cuadros y figuras elaborados a partir de los *resultados* deben ser explicativos por sí mismos; los comentarios que se hagan deben resaltar características especiales tales como: relaciones lineales o no lineales entre variables, una cantidad estadísticamente superior a otra, tendencias, valores óptimos, etc. En síntesis, responde a la pregunta ¿qué ocurrió?

En la sección de *discusión* los datos presentados en forma de cuadros y figuras son interpretados enfocando la atención hacia el problema (o pregunta planteada) definido en la introducción, buscando demostrar la validez de la hipótesis elaborada por el investigador. Una buena discusión puede contener:

- a) Principios, asociaciones y generalizaciones basadas en los resultados.
- b) Excepciones, variables correlacionadas o no y definición de aspectos del problema no citados previamente pero que requieren ser investigados.
- c) Énfasis sobre resultados que están de acuerdo con otro trabajo (o lo contradicen).
- d) Implicaciones teóricas o prácticas.

Cuando la discusión se presenta en una sección separada no debe escribirse como una recapitulación de los resultados, pero debe centrarse en explicar el significado de ellos y explicar como proporcionan una solución al problema abordado durante el estudio. Cuando se comparan los resultados del presente estudio con otros trabajos, ya sea que coincidan o estén en desacuerdo con ellos, deben citarse las referencias más pertinentes y recientes.

### Conclusiones

Es aceptable escribir en una sección separada una o varias conclusiones breves, claras y concisas, que se desprenden de los resultados de la investigación y que sean una aportación muy concreta al campo del conocimiento donde se ubica el estudio. No se numeran las conclusiones y al redactarlas debe mantenerse la congruencia con los objetivos del trabajo y el contenido del resumen.

### Agradecimientos

En este apartado se puede dar el crédito a personas o instituciones que apoyaron, financiaron o contribuyeron de alguna manera a la realización del trabajo. No se debe mencionar el papel de los coautores en este apartado.

### Literatura citada

Incluye la lista de referencias bibliográficas citadas en el manuscrito científico, ordenadas alfabéticamente y elaborada conforme a las siguientes reglas:

1. Es recomendable que las referencias bibliográficas obtenidas sean preferentemente de: *artículos científicos* de revistas periódicas indexadas, *capítulos o libros y manuscritos en extenso* (4 o más cuartillas) publicados en memorias de congresos científicos.
2. Al escribir una referencia, empezar con el apellido paterno (donde sea costumbre agregar enseguida el apellido materno separado por un guión) del autor principal y luego las iniciales de su(s) nombre(s). Enseguida escriba la inicial del nombre del segundo autor y su primer apellido. Continuar así con el tercero y siguientes autores separando sus nombres con una coma y una «y» entre el penúltimo y último autor.
3. Colocar primero las referencias donde un autor es único y enseguida donde aparece como autor principal. En estos casos el orden de las citas se establece tomando como base el apellido del primer coautor que sea diferente.
4. En las citas donde el(los) autor(es) sea(n) los mismos, se ordenarán cronológicamente; se utilizarán letras en referencias de los mismos autores y que fueron publicadas en el mismo año (2008a, 2008b, 2008c, etc.).
5. Títulos de artículos y de capítulos de libros se escribirán con minúsculas (excepto la primera letra del título y nombres propios). Los títulos de libros llevan mayúsculas en todas las palabras excepto en las preposiciones y artículos gramaticales.

Cada uno de los tipos de referencias bibliográficas y las reglas para citarlas se ilustran con ejemplos enseguida:



### Artículos científicos de revistas periódicas

- Gamiely, S., W. M. Randle, H. A. Mills, and D. A. 1991. Onion plant growth, bulb quality, and water uptake following ammonium and nitrate nutrition. *HortScience* 26(9):1061-1063.
- Randle, W. M. 1992a. Sulfur nutrition affects nonstructural water-soluble carbohydrates in onion germplasm. *HortScience* 27(1):52-55.
- Randle, W. M. 1992b. Onion germplasm interacts with sulfur fertility for plant sulfur utilization and bulb pungency. *Euphytica* 59(2):151-156.

### Capítulos de libros

- Darbyshire, B. and B. T. Steer. 1990. Carbohydrate biochemistry. In: H.D. Rabinowitch and J.L. Brewster (eds.). *Onions and allied crops. Vol. 3. CRC Press, Boca Raton, Fla. p. 1-6*

### Libros

- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1960. Principles and Procedure of Statistics: A Biometrical Approach. McGraw-Hill Book Company Inc. New York. 481 p.

### Memorias de Congresos Científicos

- Mata, R. J., F. Rodríguez y J. L. Pérez. 2005. Evaluación de aditivos fertilizantes: raíz-set LSS (producto comercial) y root N-Hancer (producto experimental) en la producción de ajo (*Allium sativum* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.) en Chapingo, México. In: Memoria de artículos en resumen y en extenso, XI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas (SOMECH). 27-29 de septiembre de 2005. Chihuahua, Chih., México. p.134.

### Boletín, informe, publicación especial

- Hoagland, D. R. and D. I. Arnon. 1980. The water culture method for growing plants without soil. Calif. Agr. Exp. Sta. Circ. 347. 50 p.
- Alvarado, J. 1995. Redacción y preparación del artículo científico. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial 2. 150p.
- US Environmental Protection Agency (USEPA). 1981. Process design manual for land treatment of municipal wastewater. USEPA Rep. 625/1-77-008 (COE EM1110-1-501). U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C. 60 p.

## 2. Nota científica

Son de menor extensión que un artículo (máximo 10 cuartillas a doble espacio, incluyendo cuadros y figuras). Pueden incluirse:

- a) Descubrimientos o aportaciones breves, obtenidas de un estudio reciente de carácter local o limitado;
- b) el producto de modificaciones o mejoramiento de técnicas, procedimientos experimentales, análisis estadísticos, aparato o instrumental (de laboratorio, invernadero o campo);
- c) informes de casos clínicos de interés especial;
- d) resultados preliminares, pero importantes y novedosos, de investigaciones en desarrollo, o bien,
- e) desarrollo y aplicación de modelos originales (matemáticos o de cómputo) y todos aquellos resultados de investigación que a juicio de los editores merezcan ser publicados.

Como en el caso de un artículo extenso, la nota científica debe contener: a) *título* (español e inglés), b) *autor(es)*, c) *institución de adscripción del autor(es)*, d) *resumen* (en español e inglés), e) *palabras clave* (español e inglés). El *texto* de una nota científica contendrá también la misma información señalada para un artículo extenso: f) *introducción*, g) *materiales y métodos*, h) *resultados y discusión* y i) *conclusiones*; sin embargo, su redacción será corrida de principio a final del trabajo; esto no quiere decir que sólo se supriman los subtítulos, sino que se redacte en forma continua y coherente. La nota científica también incluye el inciso k) *bibliografía*.

## 3. Ensayo científico

Manuscrito de carácter científico, filosófico o literario, que contiene una contribución crítica, analítica y sólidamente documentada sobre un tema específico y de actualidad. Se caracteriza por ser una aportación novedosa, inédita y expresa la opinión del(os) autor(es) así como conclusiones bien sustentadas. Su extensión máxima es de 20 cuartillas a doble espacio (incluyendo cuadros y figuras).

La estructura del ensayo contiene los incisos siguientes: a) *Títulos* (español e inglés), b) *autor(es)*, c) *Institución de adscripción*, d) *resumen* (español e inglés), e) *palabras clave* (español e inglés), f) *introducción*, g) *desarrollo del tema*, g) *conclusiones* y h) *bibliografía*. El tópico es analizado y discutido bajo el apartado *Desarrollo del tema*.

#### 4. Revisión bibliográfica

Consiste en el tratamiento y exposición de un tema o tópico relevante y de actualidad. Su finalidad es la de resumir, analizar y discutir, así como poner a disposición del lector información ya publicada sobre un tema específico. Ya sea que la revisión temática sea solicitada por el Consejo Editorial a personas expertas o bien que el manuscrito sea presentado por un profesional experimentado, debe resaltarse la importancia y significado de hallazgos recientes del tema. El texto contiene los mismos capítulos de un ensayo, aunque en el capítulo *desarrollo del tema* es recomendable el uso de encabezados para separar las diferentes secciones o temas afines en que se divide la revisión bibliográfica; además, se sugiere el uso de cuadros y figuras para una mayor comprensión del contenido.

#### Preparación de cuadros y figuras

Se recomienda insertar los cuadros y figuras, numerados progresivamente, en el lugar correspondiente del texto. Los cuadros y gráficas deberán dejarse como objetos editables (no como imágenes insertadas), con el propósito de modificarlos en caso de ser requerido. Los títulos de los cuadros y/o figuras se escriben en letra Arial, negritas y 12 puntos. En los títulos, el uso de las letras mayúsculas se limita a la primera letra y nombres propios.

#### Cuadros

Los cuadros con los resultados se presentan en tablas construidas preferentemente con tres o cuatro líneas horizontales; las dos primeras sirven para separar los encabezados, mientras que la(s) última(s), para cerrar la tabla. Las líneas verticales se usan también para distinguir columnas de datos. Se presenta un ejemplo de cuadros con información estadística (Cuadro 1).

#### Figuras

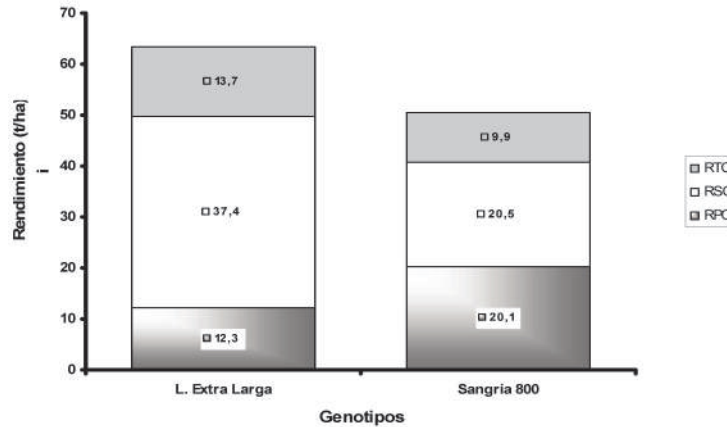
En las figuras no se debe duplicar la información presentada en los cuadros o viceversa. Se recomienda el uso de medidas de acuerdo al Sistema Métrico Decimal y las abreviaturas utilizadas deberán apegarse a las recomendaciones que aparecen en la tabla que se anexa al presente documento.

Siempre que se incluyan figuras de línea o de otro tipo deben utilizarse símbolos bien definidos para evitar confusiones. Si se usan gráficas del tipo de barras o pastel, los rellenos deben ser contrastantes. En lo posible, las fotografías e imágenes incluidas en el manuscrito deben ser en formato *tif* o *jpg* con un mínimo de 300 puntos de resolución y el archivo original por separado.

**Cuadro 1.** Análisis de varianza de la variable Peso de flor fresca en Golden Delicius

Fuente de variación	Grados de libertad	Sumas de cuadrados	Cuadrado medio	F <sub>c</sub> calculada	Significancia P <sub>r</sub> > F <sub>t</sub>
Colector	3	4306.25	1435.42	2.68	0.1099
Día	3	214118.75	71372.92	133.30	0.0001
Error	9	4818.75	535.42	-	-
Total	15	223243.75	Desv. Estándar =	23.14	
Estimadores	CV (%)	10.9	Media =	211.9	

**Figura 2.** Rendimiento de tres cortes en dos genotipos de sandía (Janos, Chih., UACH-2009)




**Cuadro 2.** Unidades de medición y abreviaturas de uso frecuente

Unidades	Abreviatura	Unidades	Abreviatura
cal	Caloría(s)	ml	Mililitro (s)
cm	Centímetro(s)	mm	Milímetro (s)
°C	Grado centígrado(s)	min	Minuto (s)
DL <sub>50</sub>	Dosis letal 50%	ng	Nanogramo (s)
g	Gramo(s)	P	Probabilidad (estadística)
ha	Hectárea(s)	p	Página
h	Hora (s)	PC	Proteína cruda
i. m.	Intramuscular (mente)	PCR	Reacción en cadena de la polimerasa
i. v.	Intravenosa (mente)	pp	Páginas
J	Joule(s)	ppm	Partes por millón
kg	Kilogramo(s)	%	Por ciento (con número)
km	Kilómetro(s)	rpm	Revoluciones por minuto
l	Litro(s)	seg	Segundo (s)
log	Logaritmo decimal	t	Tonelada (s)
Mcal	Megacaloría(s)	TND	Total de nutrientes digestibles
MJ	Megajoule(s)	UA	Unidad animal
M	Metro(s)	UI	Unidades internacionales
msnm	Metros sobre el nivel del mar	vs	Versus
µg	Microgramo(s)	xg	Gravedades
µl	Microlitro(s)	km.h <sup>-1</sup>	Kilómetro por hora
µm	Micrómetro(s) ó micra(s)	t.ha <sup>-1</sup>	Tonelada por hectárea
mg	Miligramo(s)	µg. ml	Microgramos por mililitro

Cualquier otra abreviatura se pondrá entre paréntesis inmediatamente después de la(s) palabra(s) completa(s).

Los nombres científicos y otras locuciones latinas se deben escribir en cursivas, como se indica

en los ejemplos siguientes: Durazno (*Prunus persica* L. Batsch), Tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.), Hongo fitopatógeno (*Pythium aphanidermatum* Edson), Palomilla de la manzana (*Cydia pomonella* L.), en laboratorio *in vitro*, sin restricción *ad libitum*. 





## GÉNERO, SALUD Y AMBIENTE LABORAL

LUZ HELENA SANÍN, LEONOR CEDILLO,  
ROSA MA. GUEVARA G.  
Coordinación

### Género, Salud y Ambiente Laboral

**G**énero es una palabra que interrelaciona los principales conceptos de esta obra; los roles de género y las diferencias biológicas entre hombres y mujeres nos exponen a diferentes riesgos medioambientales y laborales. La incorporación de las mujeres a los medios laborales como resultado de un trato aparentemente equitativo y de igualdad de oportunidades, y la duplicidad o intercambio de roles que se ha generado a partir de ello, ha tenido impacto en la salud de ellas. Escrito en un lenguaje abierto y claro, esta obra entrelaza los términos científicos y el lenguaje común para lograr una lectura amena que nos centra en los riesgos a los cuales los trabajadores, hombres y mujeres, se exponen como consecuencia de su labor diaria.

En el transcurso de la lectura de este libro podemos encontrar pasajes impactantes, como el caso de las mujeres que durante la Primera Guerra Mundial fueron empleadas para pintar las carátulas luminiscentes de relojes, sin saber que al mismo tiempo que obtenían un sustento para sus familias, también iniciaban su camino hacia la muerte, ya que la pintura que utilizaban tenía un alto contenido de radio, elemento radioactivo sumamente tóxico y que actualmente se sabe, es responsable de múltiples enfermedades. O como la exposición de mujeres a los plaguicidas en su propio hogar, al lavar la ropa de sus cónyuges, del padre, o de los hijos que laboran en el campo o realizan trabajos de fumigación, aspirando a la vez las formas volátiles de estos plaguicidas. Casos igualmente importantes, son los efectos conductuales y en la salud mental de las mujeres que se incorporan al trabajo en la industria minera a pequeña escala en Colombia, o las que se incorporan a trabajar en las plataformas petroleras marinas en México.

Este grupo de entusiastas investigadoras, con su visión en la investigación sobre salud laboral con una perspectiva de género, nos invita a reflexionar y analizar las inequidades que surgen en los ambientes laborales por las diferencias de género en México y América Latina. En torno a esta obra se agrupan reconocidos investigadores de México, Colombia, Nicaragua, Estados Unidos, España e Italia.

Universidad Autónoma de Chihuahua  
Facultad de Enfermería y Nutriología

## CONVOCATORIA 2012

Ciclo escolar agosto-diciembre 2012

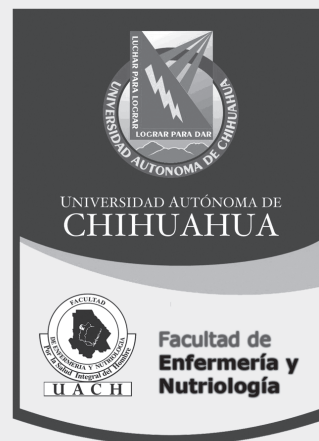
### MAESTRÍAS

- **MAESTRÍA EN ENFERMERÍA**  
(CON BECA CONACYT)
- **MAESTRÍA EN SALUD EN EL TRABAJO**  
(CON BECA CONACYT)
- **MAESTRÍA EN NUTRICIÓN HUMANA**

RECEPCIÓN DE DOCUMENTOS: 16 DE ABRIL AL 18 DE MAYO  
INICIO DE CLASES: 13 DE AGOSTO

**INFORMES:**  
**(614) 238-6048 EXT. 4812 Y 4818**  
**www.fen.uach.mx**

**“Por la salud integral del hombre”**



#### DIRECTORIO

M.C. Jesús Enrique Seáñez Sáenz  
*Rector*

M. Enf. Elvira Sáenz López  
*Directora*

M.A. Juan Manuel Barroso G.  
*Secretario de Investigación y Posgrado*







## Universidad Autónoma de Chihuahua Facultad de Ingeniería

Se invita a los interesados a realizar Estudios de Doctorado y que deseen involucrarse en el Desarrollo Científico e Innovación Tecnológica en el área de Infraestructura para el Transporte, a aplicar al programa de:

### DOCTORADO EN INGENIERÍA

Programa apoyado con becas CONACYT

Reconocido por su calidad e investigación de vanguardia al pertenecer al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.



### ADMISIÓN AGOSTO DE 2012

Recepción de documentos: a partir de mayo de 2012

Entrevistas: junio 22 de 2012 en sala de juntas de Dirección a partir de las 9:00 am  
Secretaría de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, UACH.

#### LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

1. GEOTECNIA;
2. PAVIMENTOS;
3. ESTRUCTURAS;
4. HIDROLOGÍA y AMBIENTAL

#### REQUISITOS DE INGRESO:

1. Dos copias de títulos licenciatura y maestría (o constancia de trámite de título);
2. Copia de cédulas profesionales de licenciatura y maestría;
3. Original y dos copias relaciones de estudio (licenciatura y maestría);
4. Original y dos copias del acta de nacimiento;
5. Original y dos copias CURP;
6. Dos fotografías tamaño credencial blanco y negro;
7. Dos cartas de recomendación académicas (maestros de universidades de procedencia);
8. Carta de intención, explicando porque se desea ingresar
9. Registro de CVU (Currículum Vitae Único en [http://www.conacyt.mx/cvu/index\\_cvu.html](http://www.conacyt.mx/cvu/index_cvu.html));
10. Presentar y aprobar el examen de conocimientos EXANI III;
11. Comprobantes vigentes de la presentación del examen TOEFL con puntuación mínima de 500 puntos.

#### MAYORES INFORMES:

Dr. Alejandro Villalobos Aragón  
Coordinador del Programa  
avillalobos@uach.mx, sip\_fi@uach.mx  
tel. (614) 442 9500, exts: 2513 y 2502

Facultad de Ingeniería, Circuito No. 1, Campus Universitario 2,  
Chihuahua, Chih., CP. 31125  
[www.fing.uach.mx](http://www.fing.uach.mx)

# Universidad Autónoma de Chihuahua Facultad de Ciencias Químicas



## Programas de Maestría en Ciencias

Reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad, CONACyT

## Biotecnología



## Ciencia y Tecnología de Alimentos



Nuevo Campus Universitario, Circuito Universitario, Chihuahua, Chih., México, C.P. 31125, Tel. (614)236-6000

Encuentra más información en:

[www.fcq.uach.mx](http://www.fcq.uach.mx)



# TECNOCIENCIA Chihuahua

Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación  
Instituto Tecnológico de Chihuahua



Análisis de las áreas deforestadas en la Sierra Madre Occidental



Análisis de foliaros presentes en tomateño



# TECNOCIENCIA Chihuahua

Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación  
Instituto Tecnológico de Chihuahua



Manejo de plagas en el cultivo de chile y su impacto ambiental en la zona agrícola de Jiménez-Villa López, Chihuahua, México



# TECNOCIENCIA Chihuahua

Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación  
Instituto Tecnológico de Chihuahua



Identificación de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua



Identificación de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua



Identificación de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua



Identificación de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua



# TECNOCIENCIA Chihuahua

Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación  
Instituto Tecnológico de Chihuahua



Desarrollo de material para la producción de proteína microbiana



Desarrollo de material para la producción de proteína microbiana



Desarrollo de material para la producción de proteína microbiana



Desarrollo de material para la producción de proteína microbiana



Desarrollo de material para la producción de proteína microbiana



# TECNOCIENCIA Chihuahua



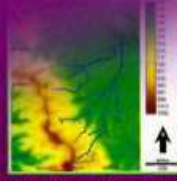
# TECNOCIENCIA Chihuahua



# TECNOCIENCIA Chihuahua

# TECNOCIENCIA Chihuahua

# 5 AÑOS



Caracterización morfológica y genética de las UVA de la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Desarrollo de perfiles de calidad y métodos de análisis de la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Impacto de la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Impacto de la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México

# TECNOCIENCIA Chihuahua



Catálago de plantas medicinales y aromáticas del estado de Chihuahua, México



Control de calidad de la producción de queso de leche de cabra en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Control de calidad de la producción de queso de leche de cabra en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México

# TECNOCIENCIA Chihuahua



Manejo de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Manejo de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Manejo de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Manejo de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México

# TECNOCIENCIA Chihuahua



Manejo de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Manejo de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Manejo de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Manejo de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México

# TECNOCIENCIA Chihuahua



Manejo de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Manejo de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Manejo de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México



Manejo de plagas en el cultivo de chile en la zona agrícola de San Pedro, Chihuahua, México

