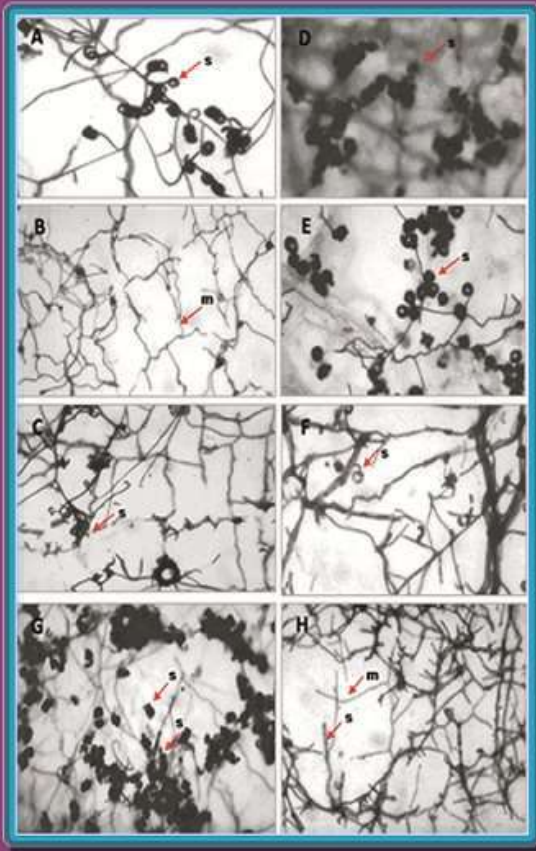


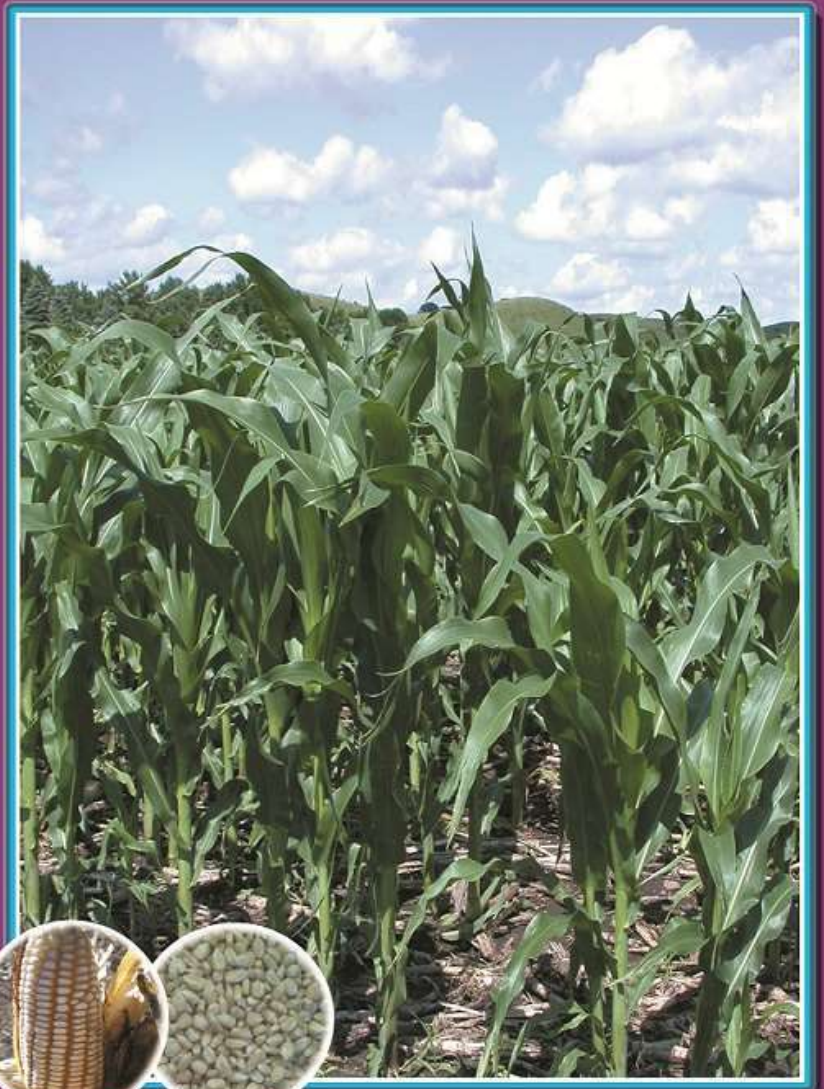
# TECNOLOGIA Ciencia

# Chihuahua

Revista de ciencia, tecnología y humanidades  
Universidad Autónoma de Chihuahua



Actinomycetes as biological control agents of phytopathogenic fungi



Calidad industrial de grano blanco de maíz de "media altura"



Fuentes de carbono económicas para la producción de bioplásticos bacterianos



latindex

PERIÓDICA

\$60.00  
Volumen III  
Número 2  
May-Ago 2009  
ISSN: 1870-6606





## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

C.P. RAÚL ARTURO CHÁVEZ ESPINOZA

*Rector*

ING. HERIBERTO ALTÉS MEDINA

*Secretario General*

DR. ALFREDO DE LA TORRE ARANDA

*Director Académico*

LIC. ALONSO GONZÁLEZ NÚÑEZ

*Director de Extensión y Difusión Cultural*

PH. D. ARMANDO SEGOVIA LERMA

*Director de Investigación y Posgrado*

C. P. MANUEL MENDOZA GARCÍA

*Director de Planeación y Desarrollo Institucional*

C. P. ROBERTO ZUECK SANTOS

*Director Administrativo*

# TECNOCIENCIA Chihuahua

### Comité Editorial Interno

DR. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA

*Editor en Jefe*

### Editores asociados

DRA. ALMA DELIA ALARCÓN ROJO

DRA. ANA CECILIA GONZÁLEZ FRANCO

DR. OSCAR ALEJANDRO VIRAMONTES OLIVAS

DR. JUAN OLLIVIER FIERRO

DR. CARMELO PINEDO ÁLVAREZ

DRA. LUZ HELENA SANÍN AGUIRRE

DR. LUIS CÉSAR SANTIESTEBAN BACA

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*

M.S.I. IVÁN DAVID PICAZO ZAMARRIPA

*Coordinador editorial*

MARTHA IVETTE ACOSTA CHÁVEZ

*Asistente editorial y Diseño*

TECNOCIENCIA-Chihuahua. Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades. Volumen III, Número 2, mayo-agosto 2009. 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) 439-1822 (extensión 2213); fax: (614) 439-1823 (extensión 2209), e-mail: [tecnociencia.chihuahua@uach.mx](mailto:tecnociencia.chihuahua@uach.mx)

Página web: <http://tecnociencia.uach.mx>

## Contenido

### Definición de la revista

### Editorial

### El científico frente a la sociedad

Fuentes de carbono económicas para la producción de bioplásticos bacterianos

*Luis Roberto Rivera-Mackintosh  
Guadalupe Virginia Nevárez-Moorillón*

**58**

### Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable

Actinomycetes as biological control agents of phytopathogenic fungi

*Ana Cecilia González-Franco  
Loreto Robles Hernández*

**64**

### Alimentos

Componentes de varianza de caracteres de maíz asociados al nixtamal

*José Salazar-Martínez  
Aurelio Guevara-Escobar  
Guadalupe Malda-Barrera  
César Humberto Rivera-Figueroa  
Yolanda Salinas-Moreno*

**74**

### I Salud y Deporte

### II Actitudes sexuales y uso del condón en estudiantes universitarios de Ciudad Juárez, México

*Hugo S. Staines  
Miguel A. Fraga  
Rufino Menchaca  
Juan Salazar  
Adriana C. Vargas  
Jesús Bucardo  
Carlos E. Cano*

**84**

Efecto del diazinón sobre el cultivo de linfocitos de sangre periférica de humano

*Yuren Castillo-Sosa  
Aníbal Sierra-Fonseca  
Alejandro Martínez-Martínez  
Fernando Plenge-Tellechea*

**97**

### Creatividad y Desarrollo Tecnológico

La Leche de cabra y su importancia en la nutrición

*María Antonia Flores-Córdova  
Ramona Pérez Leal  
Moisés Basurto-Sotelo  
María del Rosario Jurado-Guerra*

**107**



## 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

**H**ace 9,000 años, el maíz comenzó a ser domesticado en México, y desde entonces hasta la actualidad, este cereal es reconocido como el alimento básico de los pueblos y culturas del continente americano, como lo evidenciaron: olmecas, mayas, aztecas o incas. También se considera al cultivo de maíz como el eje de la vida de los pueblos de América.

En este fascículo, se incluye el artículo “Componentes de varianza de caracteres de maíz asociados al nixtamal”, en donde sus autores documentan las características principales y su relación con la calidad en el proceso de nixtamalización, de cinco híbridos de maíz de grano blanco.

Los efectos adversos provocados en el medio ambiente debido al uso de plásticos derivados del petróleo, la disminución de las reservas petroleras, y por consecuencia, el aumento en el precio de este hidrocarburo, son condiciones que han incentivado a la comunidad científica e industrial a realizar investigación para desarrollar y producir plásticos biodegradables. En el artículo “Fuentes de carbono económicas para la producción de bioplásticos bacterianos”, los autores hacen una interesante reseña de la obtención de biopolímeros a través de especies de bacterias, comúnmente presentes en desechos agroindustriales; como ejemplos de éstos pueden señalarse el agua de desecho de la crianza de animales y el bagazo de caña de azúcar. La producción de plásticos biodegradables a partir de fuentes renovables, tiene además la ventaja de su bajo costo.

En la sección de Medio ambiente y desarrollo sustentable, se incluye también la reseña “Actinomycetes as biological control agents of phytopathogenic fungi”. En esta revisión los autores señalan que los hongos actinomicetos, reserva de antibióticos y metabolitos bioactivos, actúan como fungicidas naturales y brindan protección a diversas especies vegetales contra microorganismos fitopatógenos. Con el uso de estos agentes de control biológico, puede evitarse la aplicación de agroquímicos, que ponen en riesgo la salud del hombre y contaminan el medio ambiente, lo cual representa una interesante alternativa en el marco de la agricultura sustentable.

Las campañas para el uso de anticonceptivos, particularmente la utilización del condón, han sido enfocadas principalmente a la prevención del SIDA. No obstante, la práctica en el uso del condón, aún entre universitarios no se ha generalizado como podría pensarse. En este fascículo se presenta el artículo “Actitudes sexuales y uso del condón en estudiantes universitarios de Ciudad Juárez, México”, donde sus autores demuestran que dicho grupo tiene un alto riesgo para contraer enfermedades de transmisión sexual. En primer lugar, debido a su inconsistencia en el uso del condón; en segundo lugar, por presentar conductas de riesgo como individuos sexualmente activos.

En el área de la salud, se incluye también el artículo “Efecto del diazinón sobre el cultivo de linfocitos de sangre periférica de humano”, donde se exponen ampliamente las consecuencias por el abuso de plaguicidas organofosforados como el diazinón, pesticida aplicado para el control de insectos dañinos a las plantas. Los autores del estudio evaluaron los efectos de diferentes concentraciones del plaguicida sobre células de sangre humana.

Por último, en el artículo “La leche de cabra, su importancia en la nutrición”, los autores exponen con detalle las propiedades nutritivas de este alimento, las cuales consideran en algunos aspectos superiores a las de la leche de vaca. Además señalan que la relativa facilidad y bajo costo en la crianza de estos pequeños rumiantes, la hacen una alternativa económicamente viable. Lo anterior explica porqué la producción de leche de cabra ha tenido en México un crecimiento sostenido en los últimos años.

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

# Fuentes de carbono económicas para la producción de bioplásticos bacterianos

## Economic carbon sources for bacterial bioplastic production

LUIS ROBERTO RIVERA-MACKINTOSH<sup>1</sup>, GUADALUPE VIRGINIA NEVÁREZ-MOORILLÓN<sup>2,3</sup>

### Resumen

Los plásticos, particularmente aquellos producidos a partir del petróleo, son utilizados ampliamente debido a sus propiedades mecánicas y fisicoquímicas. Sin embargo, estos materiales son poco biocompatibles y muestran resistencia a procesos de degradación, por lo que tienden a acumularse ocasionando efectos detrimentales al ambiente. Como sustituto a los petroplásticos (plásticos derivados del petróleo) se pueden emplear polímeros de origen biológico, que poseen propiedades similares a sus contrapartes sintéticas, pero una mayor biocompatibilidad. La mayoría de los bioplásticos (plásticos de origen biológico) muestran costos de producción más elevados que petroplásticos similares, lo que constituye una gran desventaja. En esta revisión se presenta una breve reseña de la biosíntesis bacteriana de polihidroxibutiratos (PHB) y polihidroxivaleratos (PHV) a partir de fuentes de carbono consideradas como subproductos o desechos de actividades agrícolas o industriales. La selección de una fuente de carbono económica puede cerrar parcialmente la brecha económica entre la producción de bioplásticos y la producción de petroplásticos.

**Palabras clave:** Polihidroxibutirato, polihidroxivalerato, bioplásticos, biocompatibilidad, biosíntesis.

### Abstract

Plastics, particularly those produced from crude oil, are widely used due to their mechanical, physical and chemical properties. Nevertheless, these materials are poorly biocompatible and show resistance to degradation processes; therefore, they tend to accumulate, causing detrimental effects on the environment. Polymers of biological origin that have similar properties but higher biocompatibility, can be used as a substitute to petroplastics (petroleum-based plastics). Most bioplastics (biologically obtained plastics) have higher production costs than similar petroplastics, which represents a great disadvantage. In this review, a brief account of bacterial polyhydroxybutirate (PHB) and polyhydroxyvalerate (PHV) biosynthesis using carbon sources deemed as byproducts or waste of agricultural or industrial activities is presented. Choosing an economical carbon source can partially close the economic gap between bioplastic and petroplastic production.

**Keywords:** Polyhydroxybutirate, polyhydroxyvalerate, bioplastics, biocompatibility, biosynthesis.

### Introducción

El uso de plásticos obtenidos a partir del petróleo (petroplásticos) es parte fundamental del *modus vivendi* contemporáneo, en gran medida gracias a sus propiedades mecánicas y fisicoquímicas, que permiten sustituir el uso de otros materiales más caros o menos resistentes. Sin embargo, estos compuestos acarrearán también desventajas de manera inherente: se obtienen a partir de un recurso no renovable como lo es el petróleo, por lo que su producción se ve

<sup>1</sup> Estudiante de posgrado. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Campus II, Apdo. Postal 1542-C. Chihuahua, Chih., México 31125 Tel. (614) 236-6000

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

afectada por el incremento al precio del mismo debido a la disminución en las reservas, el aumento en el consumo y cambios geopolíticos críticos para la industria petrolera (Masuda, 2008).

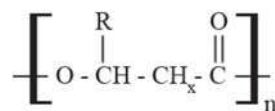
Otra desventaja se observa en el impacto al ambiente, donde la acumulación de petroplásticos interfiere con la dinámica natural de los ecosistemas, constituyendo un problema severo. Esta acumulación, netamente antropogénica, debe su origen a la cantidad extraordinaria de actividades y procesos que involucran el uso de petroplásticos, además que la mayoría de estos compuestos poseen estructuras químicas que les confieren resistencia a la degradación biológica o química. Si bien se han explorado procesos para reciclar o eliminar petroplásticos del ambiente, las tendencias hacia los modelos socioeconómicos de desarrollo sostenible han impulsado la investigación sobre la generación de bioplásticos como los polihidroxicanoatos (Verlinden *et al.*, 2007), que ofrecen una mejor biocompatibilidad, es decir, que ocasionan menores impactos a los ecosistemas. El reto radica en obtener bioplásticos con propiedades similares a los petroplásticos existentes, pero a un costo similar o menor. Esta revisión tiene como objetivo mostrar la producción de bioplásticos a partir de fuentes de carbono económicas, presentes en grandes cantidades por ser desechos agroindustriales, o carentes de valor agregado actual, reduciendo así los costos asociados a su producción.

## Polihidroxicanoatos

Los polihidroxicanoatos (PHA) son poliésteres termoplásticos sintetizados por diversos organismos, incluyendo microorganismos procariotes y algunas plantas, bajo condiciones de crecimiento específicas. Constituyen biopolímeros importantes por su capacidad para ser producidos a partir de fuentes renovables, así como por su biodegradabilidad. Identificados en 1926 por Maurice Lemoigne (Trotsenko y Belova, 2000), los PHA son poliésteres alifáticos constituidos por monómeros de entre 1000 y 3000 unidades (Patnaik, 2005). Los monómeros de hidroxialcanoatos poseen una estructura general como se muestra en la Figura 1. Cuando R = CH<sub>3</sub>, se tienen monómeros de hidroxibutirato, que da como resultado el poli-β-hidroxibutirato (PHB). Si R = CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>, se tienen monómeros de hidroxivalerato, que da como resultado el poli-β-hidroxivalerato (PHV). Estos dos compuestos, ya sea en forma de homopolímeros o en

heteropolímeros ocupan los lugares predominantes de los polihidroxicanoatos comercialmente disponibles la actualidad (Patnaik, 2005).

Figura 1: Fórmula general de los polihidroxicanoatos.



Los PHA poseen, en general, características fisicoquímicas similares a las de los poliésteres sintéticos (Khanna y Srivastava, 2007; Patnaik, 2005). Los homopolímeros como el PHB suelen ser materiales muy cristalinos y rígidos, pero los heteropolímeros de hidroxibutirato – hidroxivalerato son más dúctiles y resistentes. La adición de monómeros de hidroxivalerato disminuye el punto de fusión, pero aumenta su biodegradabilidad (Khanna y Srivastava, 2007). Los copolímeros PHBV suelen formarse cuando se utilizan mezclas de sustratos, como glucosa y valerato (Verlinden *et al.*, 2007).

El Cuadro 1 presenta una comparación de algunas propiedades entre el polipropileno, un homopolímero polihidroxibutirato (PHB) y un heteropolímero hidroxibutirato – hidroxivalerato (PHBV). En contraste con los polímeros de cadena corta, como el PHB o el PHBV, los polihidroxicanoatos de cadena mediana son menos cristalinos y más elásticos (Madison y Huisman, 1999).

Cuadro 1. Comparación de algunas propiedades entre poliésteres sintéticos (polipropileno) y polihidroxicanoatos.

Propiedad	Polipropileno	PHB	PHBV( 20% HV)
Punto de fusión (°C)	176	177	145
Cristalización (%)	50 - 70	60	56
Fuerza de tensión (MPa)	38	43	20
Extensión hasta quiebre (%)	400	5	50
Biodegradación	Prácticamente nula	Buena	Muy buena

Además de las diferencias en los costos de producción, los poliésteres sintéticos poseen, en general, mejores propiedades mecánicas que los PHA. Convertir a los biopoliésteres en plásticos atractivos para fines industriales tiene, entonces, una connotación especial. Para este fin se puede jugar con la composición

del medio de cultivo (Anderson y Dawes, 1990) o con la composición del polímero ya sintetizado, adicionándolo con arcillas u otros compuestos que mejoren sus propiedades mecánicas o su facilidad para ser biodegradado (Maiti *et al.*, 2007). Si bien existen reportes sobre la producción de PHA en plantas, las células vegetales solo obtienen rendimientos menores al 10 % (10 % del peso seco atribuido al PHA), mientras que algunas bacterias logran acumular estos biopolímeros, de manera que hasta un 80-90 % del peso seco es atribuible al PHA, convirtiéndolas en candidatos idóneos para la producción de polihidroxialcanoatos a nivel industrial (Verlinden *et al.*, 2007).

### Microorganismos productores de PHA

Los PHA son producidos por una gran diversidad de bacterias, siendo *Cupriavidus necator* (antes *Alcaligenes eutrophus*) una de las más estudiadas (Verlinden *et al.*, 2007). Otras bacterias conocidas por su producción de PHA incluyen especies de *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, y *Halomonas* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Bacterias productoras de PHA, fuentes de carbono utilizadas y polímeros obtenidos.

Bacteria	Fuentes de carbono	Polímero(s) producido(s)	Referencia
<i>Alcaligenes latus</i>	Savia de maple	PHB	(Yeza <i>et al.</i> , 2007)
<i>Azotobacter vinelandii</i>	Agua de desecho (crianza de cerdos)	PHBV	(Cho <i>et al.</i> , 2001)
<i>Bacillus spp.</i>	Caldo nutritivo, sucrosa, alcanoatos	PHB, PHBV	(Kalircioglu <i>et al.</i> , 2003; Shamala <i>et al.</i> , 2002)
<i>Burkholderia sacchari</i>	Arabitol, fructosa, lactosa, mallosa, sorbitol, trehalosa.	PHB, PHBV	(Brämer <i>et al.</i> , 2001)
<i>Comamonas spp.</i>	Aceite de palma	PHBV	(Zakaria <i>et al.</i> , 2008)
<i>Escherichia coli (mutantes)</i>	Suero de leche, licor de remojo del maíz	PHB	(Nikel <i>et al.</i> , 2006)
<i>Halomonas boliviensis</i>	Salvado de trigo hidrolizado, almidón hidrolizado	PHB	(Van-Thuoc <i>et al.</i> , 2007; Quillaguanan <i>et al.</i> , 2005)
<i>Pseudomonas oleovorans</i>	Ácido octanoico	PHA de cadenas medianas	(Durner <i>et al.</i> , 2000)

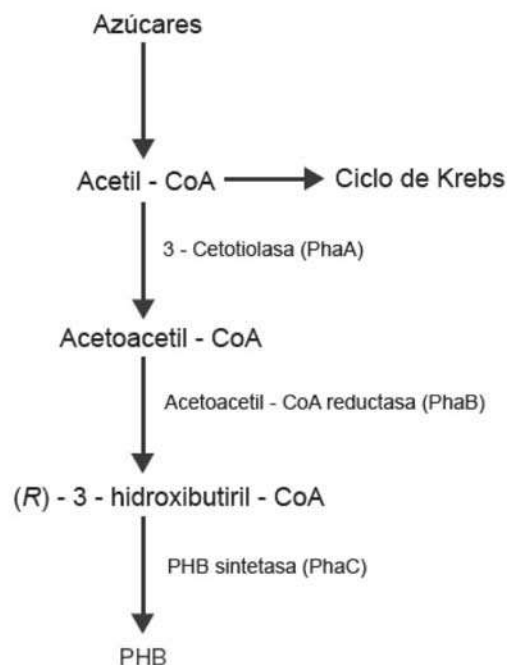
Se conocen más de cien especies bacterianas productoras de PHA (Trotsenko y Belova, 2000). Los PHA se acumulan en vesículas intracelulares y su formación está asociada a la deficiencia de algunos nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, entre otros) cuando existe un exceso en la fuente de carbono y como respuesta a diversos factores de estrés ambiental (Nikel *et al.*, 2006). Cepas mutantes de

*Cupriavidus necator* pueden acumular hasta un 80 % (peso – peso) de PHB al utilizar glucosa como fuente de carbono. Algunas de esas cepas, al cultivarse en un medio conteniendo glucosa y ácido propiónico, producen un copolímero de hidroxibutirato – hidroxivalerato, en el que la proporción entre hidroxibutirato e hidroxivalerato varían en relación directa con la relación entre glucosa y ácido propiónico (Anderson y Dawes, 1990).

### Biosíntesis de PHB

Dentro de los polihidroxialcanoatos el PHB ha sido el más estudiado, por lo que su mecanismo de síntesis es conocido (Verlinden *et al.*, 2007). De manera general para todo microorganismo productor de PHB, su biosíntesis ocurre como se describe en la Figura 2.

Figura 2: Ruta metabólica general para la síntesis de PHB.



Las cetotiolasas catalizan la adición reversible de un grupo acetil a una molécula de acetil-Coa. La enzima acetoacetil – CoA reductasa reduce (de manera reversible) las moléculas de acetoacetil – CoA en hidroxibutiril – CoA. Por último, las PHB sintetasas catalizan la reacción de polimerización entre moléculas de hidroxibutirato (Trotsenko y Belova, 2000).



## Producción de PHA y la relación costo - beneficio

Aún cuando las ventajas ecológicas de los polihidroxialcanoatos son notables, una serie de factores limitan su adopción plena como sustitutos a los poliésteres sintéticos. Los costos de producción de PHA son, hasta el momento, mayores que los costos en la producción de poliésteres sintéticos. En este sentido, la optimización del proceso global debe darse en cada operación unitaria: selección de sustratos económicos, optimización del proceso de fermentación y en la optimización de la extracción y purificación del producto (Verlinden *et al.*, 2007; Patniak, 2005; Nonato *et al.*, 2001). Otra opción puede ser utilizar microorganismos genéticamente modificados para producir PHA en cantidades mayores a las encontradas en cepas ambientales (Jo *et al.*, 2006; Nikel *et al.*, 2006).

## Sustratos económicos = ¿sustratos de desecho?

Se conoce que, para la mayoría de los microorganismos, la producción de PHA está ligada a la escasez de nitrógeno o algún otro nutriente en relación a una abundante fuente de carbono, generalmente mono- y disacáridos o ácidos grasos (Verlinden *et al.*, 2007; Kadouri, 2005; Patniak, 2005; Trotsenko y Belova, 2000). Una de las áreas de oportunidad para mejorar el proceso global se centra en encontrar fuentes de carbono económicas, provenientes muchas veces de material considerado como desecho o como subproducto abundante que ofrece por sí mismo poco valor agregado.

El uso de material de desecho para producir PHA se ha estudiado de manera particular en varios trabajos, como el de Cho *et al.* (2001), en el que utilizan agua desechada de la crianza de cerdos en la producción de PHA por *Azotobacter vinelandii* ATCC 53799. El agua desechada utilizada como fuente de carbono es rica en acetato, propionato y butirato. Al diluir el agua a la mitad, *Azotobacter vinelandii* logró producir y almacenar PHA hasta un 34 % (peso – peso) y la adición de 20 g / L de glucosa elevó este porcentaje hasta 63 %. Cho y colaboradores (2001) reportaron que la cantidad de nitrógeno en el agua de desecho sobrepasa la relación óptima de C:N y sugieren como corrección la adición de compuestos ricos en carbono para desequilibrar la relación entre nutrientes (como lo sugiere la adición de glucosa).

Van–Thuoc *et al.* (2007) utilizaron residuos agrícolas para producir PHB por medio de *Halomonas boliviensis*. Los residuos consistían en salvado de trigo hidrolizado, que resulta en una acumulación de PHA de 33.8 % (peso–peso). Al adicionar el hidrolizado con acetato de sodio y ácido butírico, se eleva la acumulación hasta un 50 %. Estos autores proponen la hidrólisis de los residuos agrícolas, lo que acarrea el costo extra de la hidrólisis (parcial o total) del material. Como una forma de sobrellevar ese nuevo inconveniente, se propone utilizar un extracto enzimático crudo de origen microbiano en lugar del uso de enzimas purificadas, abatiendo así el costo extra.

También se ha propuesto la producción de PHA a partir de aceite comestible gastado, utilizando *Pseudomonas sp.* DR2 que fue originalmente aislada de un campo de arroz. El microorganismo acumuló hasta un 23.52 % (peso – peso) de PHA de media cadena utilizando el aceite gastado como fuente de carbono. Con ello, se sugiere que otros residuos no agropecuarios pueden ser utilizados para la producción de polihidroxialcanoatos (Song *et al.*, 2008).

Otra forma de abordar la problemática búsqueda de sustratos económicos consiste en aprovechar materia prima abundante para una región. Yezza *et al.* (2007) eligieron al microorganismo *Alcaligenes latus* para producir PHB, usando savia de maple como fuente de carbono. La savia de maple contiene 10-30 g/L de sacarosa, es abundante en países del hemisferio norte, como Canadá, y puede representar una fuente renovable de carbono para producir polihidroxibutiratos. En el trabajo antes mencionado, *Alcaligenes latus* logró acumular hasta 77 % (peso – peso) de PHB, bajo concentraciones limitadas de nitrógeno. Nonato *et al.* (2001) van un paso mas allá y sugieren la incorporación del proceso de producción de PHB a la producción de azúcar y etanol. Tal incorporación involucraría modificaciones a los ingenios azucareros en el orden de millones de dólares, pero daría como resultado un valor agregado muy importante a los subproductos de la industria azucarera.


## Conclusión

Los polihidroxialcanoatos, como el PHB o el PHBV, son poliésteres con características importantes de biodegradabilidad, que comparten algunas propiedades con los poliésteres sintéticos, pero que aún no se encuentran listos para sustituirlos. En la medida en que se optimice el proceso general de

producción (selección de microorganismo, fuentes de nutrientes, parámetros de fermentación y operación eficiente en la extracción y purificación), los precios de producción de los bioplásticos serán más competitivos, haciendo de ellos una opción viable para sustituir a los petroplásticos. La optimización de la fermentación por la elección de sustratos baratos y fácilmente disponibles en el entorno es, sin lugar a dudas, un primer paso en la dirección correcta.

En México, residuos agroindustriales como el bagazo de plantas agaveáceas o de caña de azúcar, son candidatos interesantes para la producción de bioplásticos, al igual que los residuos provenientes de la elaboración y procesamiento de alimentos, e incluso aquellos desechos provenientes del sector doméstico. Si bien la búsqueda de fuentes de carbono económicas es fundamental para el abaratamiento en los costos de producción, es tan sólo una pieza de un rompecabezas que abarca múltiples disciplinas, como la microbiología, la ingeniería bioquímica, la ecología y la economía. Los bioplásticos deben ser más baratos y por lo menos igual de resistentes que sus contrapartes tradicionales para ser considerados sustitutos viables para los petroplásticos. Si bien, el reto de sustituir tecnologías agresivas al ambiente por tecnologías «verdes» sin un impacto económico negativo es grande, es un reto que la humanidad debe resolver para su beneficio e intrínsecamente ligado a éste, para beneficio del planeta Tierra.

## Literatura citada

- ANDERSON J., E. A. Dawes. 1990. Occurrence, metabolism, metabolic role and industrial uses of bacterial Polyhydroxyalkanoates. *Microbiol. Rev.* 54(4):450-472.
- BRÄMER C. O., P. Vandamme, L. F. Da Silva, J. G. C. Gomez, A. Steinbüchel. 2001. *Burkholderia sacchari* sp. nov., a polyhydroxyalkanoate-accumulating bacterium isolated from soil of a sugar-cane plantation in Brazil. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 51:1709-1713.
- CHO K. S., H. W. Ryu, C. H. Park, P. R. Goodrich. 2001. Utilization of swine wastewater as a feedstock for the production of polyhydroxyalkanoates by *Azotobacter vinelandii* UWD. *J. Biosci. Bioeng.* 91(2):129-133.
- DURNER R., B. Witholt, T. Egli. 2000. Accumulation of Poly[(R)-3-Hydroxyalkanoates] in *Pseudomonas oleovorans* during growth with octanoate in continuous culture at different dilution rates. *Appl. Environ. Microbiol.* 66(8):3408-3414.
- JO S. J., M. Maeda, T. Ooi, S. Taguchi. 2006. Production system for biodegradable polyester polyhydroxybutyrate by *Corynebacterium glutamicum*. *J. Biosci. Bioeng.* 102(3):233-236.
- KADOURI D., E. Jurkevitch, Y. Okon. 2005. Ecological and Agricultural significance of bacterial polyhydroxyalkanoates. *Crit. Rev. Microbiol.* 31:55-67.
- KHANNA S., A. K. Srivastava. 2007. Production of poly(3-hydroxybutyric-co-3-hydroxyvaleric acid) having a high hydroxyvalerate content with valeric acid feeding. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 34:457-461.
- KATIRCIOGLU H., B. Aslim, Z. N. Yuksekdao, N. Mercan, Y. Beyatli. 2003. Production of poly-b-hydroxybutyrate (PHB) and differentiation of putative *Bacillus* mutant strains by SDS-PAGE of total cell protein. *Afr. J. Biotechnol.* 2(6):147-149.
- MADISON L. L., G. W. Huisman. 1999. Metabolic engineering of Poly(3-Hydroxyalkanoates): from DNA to plastic. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 63(1):21-53.
- MAITI P., C. A. Batt, E. P. Giannelis. 2007. New biodegradable polyhydroxybutyrate / layered silicate nanocomposites. *Biomacromolecules.* 8:3393-3400.
- MASUDA T. Geopolitics of Oil and Gas Pipelines. 2008 Extraída de <http://www.dauphine.fr/cgemp/masterindustrie/cours%20geopolitics/geopolitics%202008/Presentation%20Masuda%207feb/pdf/Geopolitics%20of%20Oil%20and%20Gas%20Pipelines.pdf>.
- NIKEL P. I., A. De Almeida, E. C. Melillo, M. A. Galvagno, M. J. Pettinari. 2006. New Recombinant *Escherichia coli* Strain Tailored for the Production of Poly(3-Hydroxybutyrate) from Agroindustrial By-Products. *Appl. Environ. Microbiol.* 72(6):3949-3954.
- NONATO R. V., P. E. Mantelatto, C. E. V. Rossell. 2001. Integrated production of biodegradable plastic, sugar and ethanol. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 57:1-5.
- PATNAIK P. 2005. Perspectives in the modeling and optimization of PHB production by pure and mixed cultures. *Crit. Rev. Microbiol.* 25:153-171.
- QUILLAGUAMÁN J., S. Hashim, F. Bento, B. Mattiasson, R. Hatti-Kaul. 2005. Poly(b-hydroxybutyrate) production by a moderate halophile, *Halomonas boliviensis* LC1 using starch hydrolysate as substrate. *J. Appl. Microbiol.* 99:151-157.
- SHAMALA T. R., Chandrashekar A., Vijayendra S. V. N., Kshama L. 2002. Identification of polyhydroxyalkanoate (PHA)-producing *Bacillus* spp. using the polymerase chain reaction (PCR). *Jour. Appl. Microbiol.* 94: 369-374.
- SONG J. H., Jeon C. O., Choi M. H., Yoon S. C., Park W. J. 2008. Polyhydroxyalkanoate (PHA) Production using waste vegetable oil by *Pseudomonas* sp. DR2. *J. Microbiol. Biotechnol.* 18(8):1408-1415.
- TROTSSENKO Y. A., L. L. Belova. 2000. Biosynthesis of Poly(3-hydroxybutyrate) and Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) and its regulation in bacteria. *Microbiology.* 69(6):635-645.
- VAN-THUOC D., Quillaguaman J., Mamo G., Mattiasson B. 2007 Utilization of agricultural residues for poly(3-hydroxybutyrate) production by *Halomonas boliviensis* LC1. *Journal of Applied Microbiology.* 104:420-428.
- VERLINDEN R. A. J., D. J. Hill, M. A. Kenward, C. D. Williams, I. Radecka. 2007. Bacterial synthesis of biodegradable polyhydroxyalkanoates. *Journal of Applied Microbiology.* 102:1437-1449.
- YEZZA A., A. Halasz, W. Levadoux, J. Hawari. 2007. Production of poly-b-hydroxybutyrate (PHB) by *Alcaligenes latus* from maple sap. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 77:269-274.
- ZAKARIA M. R., S. Abd-Aziz, H. Ariffin, N. A. A. Rahman, P. L. Yee, M. A. Hassan. 2008. *Comamonas* sp. EB172 isolated from digester treating palm oil mill effluent as potential polyhydroxyalkanoate (PHA) producer. *Afr. J. Biotechnol.* 7(22): 4118-4121. 

Este artículo es citado así:

Rivera-Mackintosh L.R. y G. V. Nevárez-Moorillón. 2009: *Fuentes de carbono económicas para la producción de bioplásticos bacterianos*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 3(2): 58-63.

## Resúmenes curriculares de autor y coautores

LUIS ROBERTO RIVERA MACKINTOSH. Es titulado de la carrera de Químico Bacteriólogo Parasitólogo de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua en el año 2003, así como titulado de la carrera de Químico Industrial de la misma Facultad en el 2007. Ha sido instructor del Diplomado de Tutorías (2006-2007) en la Universidad Autónoma de Chihuahua, así como docente en la Universidad Regional del Norte (2000). Actualmente es estudiante de posgrado de la Maestría en Ciencias en Biotecnología que se ofrece en la Universidad Autónoma de Chihuahua.

GUADALUPE VIRGINIA NEVÁREZ MOORILLÓN. Cursó su licenciatura en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), recibiendo en 1987 el título de Químico Biólogo Parasitólogo. Realizó estudios de doctorado en la University of North Texas con la tesis «Biodegradación de componentes de petróleo contaminantes en aguas y suelos por bacterias del suelo»; en 1995 se le otorgó el grado de PH.D., especialidad Biología. Ha recibido más de siete distinciones y premios, siendo el más reciente el Premio Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos en la Categoría Profesional; este premio le fue otorgado en 2006 por la Industria Mexicana de Coca-Cola y CONACYT, promotores del citado concurso. Por su destacada labor científica, ha sido reconocida como Investigador Nacional Nivel I por el Sistema Nacional de Investigadores. Desde 1995 ha sido maestra de la Facultad de Ciencias Químicas (UACH) y su productividad científica incluye treintaydos artículos en revistas arbitradas; ha editado más de cuatro libros y dirigido más de 60 tesis (licenciatura, maestría y doctorado). La Dra. Nevárez pertenece a diversas sociedades científicas, citándose entre algunas de ellas la American Society for Microbiology, la Society for Microbial Ecology y la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería.

# Actinomycetes as biological control agents of phytopathogenic fungi

## Los actinomicetos como agentes de control biológico de hongos fitopatógenos

ANA CECILIA GONZÁLEZ-FRANCO<sup>1,2</sup> Y LORETO ROBLES HERNÁNDEZ<sup>1</sup>

Recibido: Febrero 23, 2009

Aceptado: Junio 3, 2009

### Resumen

Los actinomicetos son un reservorio enorme de antibióticos y metabolitos bioactivos y muchos de ellos son excelentes agentes de biocontrol para proteger a las plantas contra fitopatógenos. Aunque miles de antibióticos y metabolitos bioactivos han sido descritos, se cree que estos representan solo una fracción de los compuestos bioactivos producidos por los actinomicetos. En esta revisión se abordan las características generales y propiedades de los actinomicetos como agentes de control biológico, sus mecanismos a través de los cuales realizan el biocontrol y el impacto de la composición química de la pared celular de los hongos fitopatógenos en el proceso de control.

**Palabras clave:** *Streptomyces*, competencia, parasitismo, antibiosis.

### Abstract

Actinomycetes are an enormous reservoir for antibiotics and bioactive metabolites, and many are excellent biocontrol agents for use in protecting plants against phytopathogens. Although thousands of antibiotics and bioactive metabolites have been described, these are thought to represent only a small fraction of the bioactive compounds produced by actinomycetes. In this review, we summarize the general characteristics and properties of actinomycetes as biocontrol agents, the mechanisms through which the biocontrol occurs, as well as the impact of the phytopathogenic fungal cell wall composition in the control process.

**Keywords:** *Streptomyces*, competition, parasitism, antibiosis.

### Introduction

**A**ctinomycetes are among the most widely distributed group of microorganisms in nature. They are found abundantly in cultivated and uncultivated soils, in various regions throughout the world (Goodfellow and Simpson, 1987; Goodfellow and Williams, 1983).

Actinomycetes, especially streptomycetes, can degrade a wide diversity recalcitrant polymers occurring naturally in plant litter and soil, including hemicelluloses, pectin, keratin, and chitin (Gooday, 1990; Warren, 1996). Actinomycetes also have the genetic capability to synthesize several biologically active

secondary metabolites of which some are antibiotics that are predominant in therapeutic and commercial importance (Alderson *et al.*, 1993). Over one thousand secondary metabolites from actinomycetes were discovered during the years 1988-1992, and approximately 75% of these compounds were

<sup>1</sup> Profesor de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Ciudad Universitaria S/N Campus 1, Chihuahua, Chih., 31310, México.

<sup>2</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: [conzalez@uach.mx](mailto:conzalez@uach.mx)



produced by strains of the genus *Streptomyces* (Sanglier *et al.*, 1993). The compounds isolated during this period of time belong to 46 chemical classes, demonstrating the chemical diversity of the secondary metabolites biosynthesized by actinomycetes. Some examples of bioactive compounds include anti-viral and anti-cancer compounds, modulators of immune responses, various enzyme inhibitors, as well as herbicides, insecticides, anti-fungal, and anti-helminthic compounds (Sanglier *et al.*, 1993; Vining, 1990).

### Morphology and taxonomy of actinomycetes

Actinomycetes are Gram-positive bacteria with a high guanine plus cytosine content in

their DNA (> 55 mol%). The group encompasses genera covering a wide range of morphologies extending from the coccus (*Micrococcus*) and rod-coccus cycle bacteria (e.g. *Arthrobacter*), through fragmenting hyphal forms (e.g. *Nocardia*), to genera with a permanent and highly differentiated branched mycelium (*Micromonospora*, *Streptomyces* and others). Some, but not all, genera form spores that range from motile zoospores to specialized propagules that resist desiccation and mild heat, but which do not have the organization and marked resistance properties of the bacterial endospore. The molecular classification of actinomycetes has been examined by Stackebrandt *et al.* (1997). All the actinomycete families were divided into ten suborders (Stackebrandt *et al.*, 1997) (Table 1).

**Table 1.** Hierarchic classification of the actinomycetes based on the phylogenetic analyses of the 16S rDNA sequence data (Stackebrandt *et al.*, 1997).

Class: <i>Actinobacteria</i> ; Subclass: <i>Actinobacteridae</i> ; Order: <i>Actinomycetales</i>	
Suborder	Family
<i>Micrococcineae</i>	<i>Micrococcaceae</i> , <i>Brevibacteriaceae</i> , <i>Cellulomonadaceae</i> , <i>Dermabacteriaceae</i> , <i>Dermatophilaceae</i> , <i>Intrasporangiaceae</i> , <i>Jonesiaceae</i> , <i>Microbacteriaceae</i> , <i>Promicromonosporaceae</i>
<i>Actinomycineae</i>	<i>Actinomycetaceae</i>
<i>Frankineae</i>	<i>Frankiaceae</i> , <i>Acidothermaceae</i> , <i>Geodermatophilaceae</i> , <i>Microsphaeraceae</i> , <i>Sporichthyaceae</i>
<i>Propionibacterineae</i>	<i>Propionibacteriaceae</i> , <i>Nocardioidaceae</i>
<i>Streptomycineae</i>	<i>Streptomycetaceae</i>
<i>Corynebacterineae</i>	<i>Corynebacteriaceae</i> , <i>Dietziaceae</i> , <i>Gordoniaceae</i> , <i>Mycobacteriaceae</i> , <i>Nocardiaceae</i> , <i>Tsukamurellaceae</i>
<i>Micromonosporineae</i>	<i>Micromonosporaceae</i>
<i>Streptosporangineae</i>	<i>Streptosporangiaceae</i> , <i>Nocardiopsaceae</i> , <i>Thermomonosporaceae</i>
<i>Pseudonocardineae</i>	<i>Pseudonocardiaceae</i>
<i>Glycomycineae</i>	<i>Glycomycetaceae</i>

By far, streptomycetes are the most abundant culturable actinomycete (Lee and Hwang, 2002). The genus *Streptomyces* belongs to the family *Streptomycetaceae*, a unique family of the suborder *Streptomycineae*. Streptomycetes grow as mycelial filaments in soil; their mature colonies may contain two types of mycelia, the substrate (vegetative) mycelium, and the aerial mycelium. Each has a different biological role (Hopwood, 1999). Vegetative mycelia absorb nutrients, and are composed of a dense and complex network of hyphae usually embedded in the soil or immobilize substrate. Once the cell culture becomes nutrient-limited, an aerial mycelium develops from the surface of the vegetative mycelium. The role of this type of mycelium is mainly reproductive; indeed, the aerial mycelium develops into spore chains as the mature stage in their life cycle (Hopwood, 1999). Both, reproductive and aerial mycelium along with clearly sporulation of some mesophilic *Streptomyces* strains are shown in Figure 1.

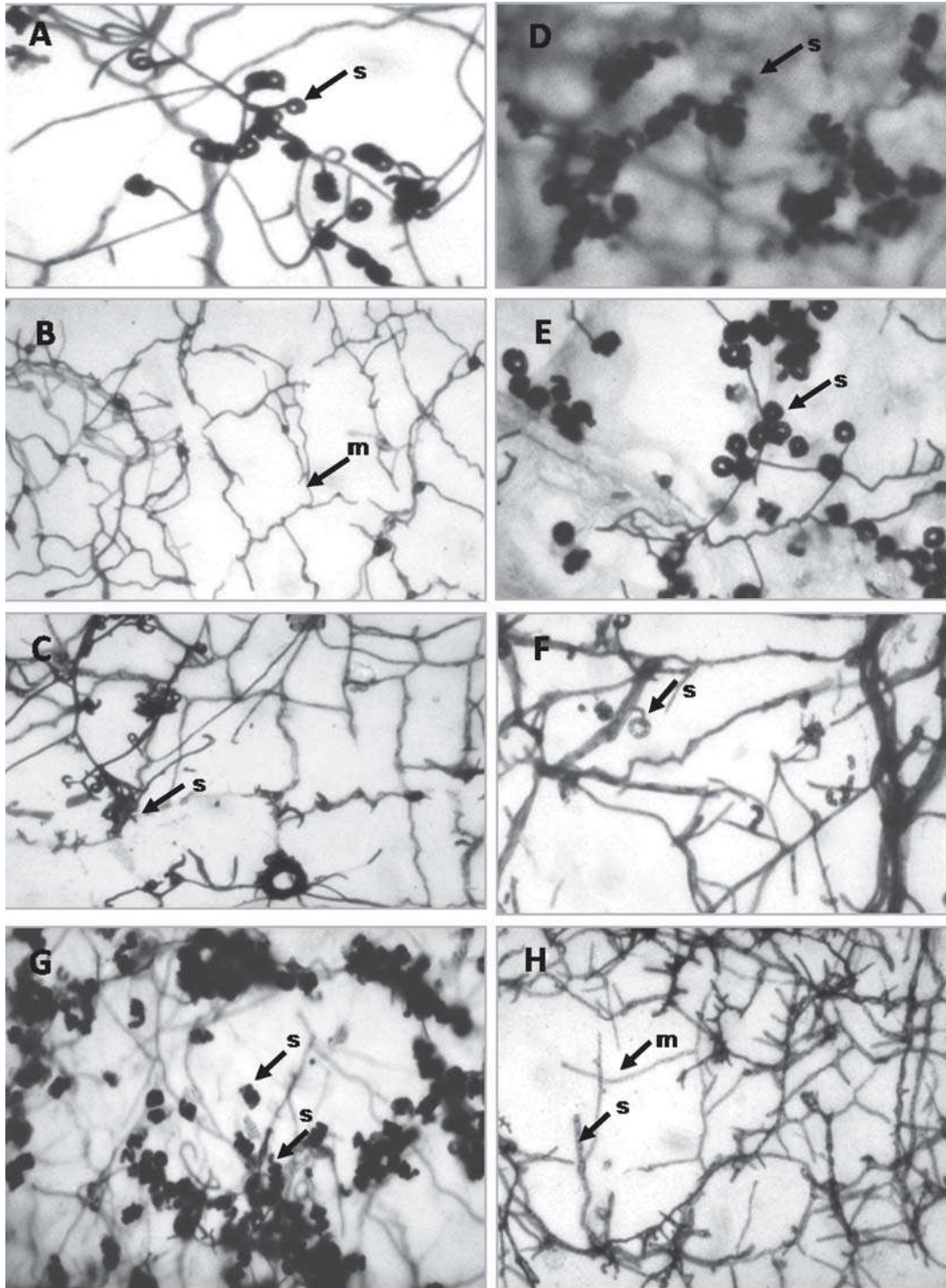
## Actinomycetes as biological control agents

Besides the enormous numbers of agroactive metabolites produced by actinomycetes (Tanaka and Omura, 1993), they also play an important role in agriculture as biocontrol agents. Antagonism against an extensive variety of plant pathogens has been reported (Bressan, 2003; Chamberlain and Crawford, 1999; Doumbou *et al.*, 2002; Tahvonen and Avikainen, 1987; Trejo-Estrada *et al.*, 1998a; Yuan and Crawford, 1995). A microorganism that colonizes roots is ideal for use as a biocontrol agent against soil-borne diseases (Weller, 1988). Actinomycetes, especially *Streptomyces*, are qualitatively and quantitatively important in the rhizosphere where they actively colonize plant root systems (Crawford *et al.*, 1993; Doumbou *et al.*, 2001; Tokala *et al.*, 2002). To better understand how these bacteria may act as biocontrol agents,

we must understand how they colonize the rhizosphere environment, and how they utilize the different mechanisms of biocontrol once they are established there. The rhizosphere is a special environment where the plant is the provider of nutrition to many life forms that are competing for life space. Information on the microflora present in the rhizosphere has been obtained primarily through isolation and cultivation of microorganisms from rhizosphere soils on laboratory media. However, more detailed descriptions of the microbial populations associated with roots are now possible with the use of molecular ecology methods such as repetitive elements-PCR (repPCR) (Schneider and De Bruijn, 1996), denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) (Muyzer and Smalla, 1998; Williamson *et al.*, 2000), and green fluorescent protein (GFP) (Gage *et al.*, 1996). These methods examine unculturable as well as culturable organisms.

Within the rhizosphere, plant roots have a direct effect on the composition and density of the soil microbial populations. Root exudates selectively influence the growth of bacterial and fungal populations by altering the presence of substrates in soil in the vicinity of roots (Grayston *et al.*, 1996; Yang and Crowley, 2000). Plant root exudates contain sugars, amino acids, organic acids, fatty acids, sterols, vitamins, nucleotides, and other compounds (Jaeger *et al.*, 1999; Smucker, 1993). The specific varieties of organic compounds released by different plants have been postulated to be a key factor influencing the diversity of microorganisms in the rhizosphere of different plant species (Buyer *et al.*, 2002; Doumbou *et al.*, 2002; Grayston *et al.*, 1996; Grayston *et al.*, 1998). There is also evidence that production of root exudates can be up regulated in the presence of certain nutrients. For example, citrate, malate, and related organic acids are over excreted by wheat and maize in response to high  $Al^{3+}$  concentrations (Ma *et al.*, 2001). The microflora present on

**Figure 1.** Microscopic morphological structures of *S. hygrosopicus* strains AZ529 (A-C), AZ541 (D-F), AZ560 (G) and *S. lydicus* WYEC108 (H). All the strains showed the spore chain morphology (s) in compact long spirals, except for *S. lydicus* WYCED-108, which showed flexuous chains of spores. Substrate mycelia is also showed (m).



Photographs by Ana C. Gonzalez-Franco



the roots can also influence the amount of root exudates produced. Rhizosphere-colonizing bacteria referred to as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) can also influence the nutritional status of the rhizosphere in several ways. For example, many PGPR are able to produce plant growth hormones such as auxins (Brandl *et al.*, 2001). Thus, the rhizosphere is a dynamic habitat rich in microorganisms and in plant-microbe interactions, some of which are beneficial to the microbes and plants, and some of which are detrimental to one and/or the other. For example, root exudates from peas susceptible to *Fusarium oxysporum* stimulated the fungus in pure culture, but also caused many rhizosphere isolates to antagonize the pathogen (Rovira, 1965).

## Mechanisms for biological control of plant pathogens

Interest in biocontrol of plant pathogens has increased considerably over the past years, partly as a response to public concern about the use of hazardous chemical fungicides and pesticides such as methyl bromide, but also because it may provide control of diseases that cannot, or can only partially, be managed by other control strategies (Cook, 1993). Many studies on the biocontrol of phytopathogens focus on the suppressive effects of single biocontrol strains on specific fungal pathogens.

Biocontrol of plant diseases, especially of fungal origin, has been achieved using microorganisms such as *Trichoderma* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., and *Streptomyces* sp. (Elad *et al.*, 1980; Ligon *et al.*, 2000; Raaijmakers *et al.*, 2002; Trejo-Estrada *et al.*, 1998a). Streptomycetes, along with other bacterial strains belonging to the Actinomycetales, have several properties that give them the ability to act as effective biocontrol agents in the rhizosphere, including the ability to colonize plant root surfaces, antibiosis against plant root pathogens, the

synthesis of particular extracellular enzymes, and the degradation of phytotoxins (Lewis and Starkey, 1969; Tokala *et al.*, 2002; Trejo-Estrada *et al.*, 1998a). There are three mechanisms known to be involved in this disease-suppression phenomenon.

**Antibiosis.** Antibiosis occurs when the antagonist (biocontrol agent) colonizes the rhizosphere and produces one or more substances that inhibit or kill the pathogen. Antibiosis by root-colonizing actinomycetes has been studied in several systems (Chamberlain and Crawford, 1999; Crawford *et al.*, 1993; Rothrock and Gottlieb, 1984; Trejo-Estrada *et al.*, 1998a). There is evidence that antibiotics are indeed produced in soil, and they have been implicated in the biocontrol of pathogens *in situ*. Rothrock and Gottlieb (1984) tested *Streptomyces hygrosopicus* var. *geldanus*, a producer of geldanamycin, in soil pots for its ability to control *Rhizoctonia* root rot of pea. Soil antibiotic extraction was quantified and the presence of antibiotic was correlated with pathogen control. Amended soils with geldanamycin in amounts equivalent to that produced *in vivo* by the streptomycete also controlled the disease (Rothrock and Gottlieb, 1984). Similarly, Trejo-Estrada (1998) tested *Streptomyces violaceusniger* YCED9, producer of nigericin, geldanamycin and a complex of macrocyclic lactone antibiotics, in greenhouse experiments to control *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia homeocarpa* (causative agents of grass seedling and crown-foliar disease, respectively). Partial control of the pathogen was associated with production of antibiotics, one of which (nigericin) could be extracted from the soil (Trejo-Estrada *et al.*, 1998b). Another study in the same *Streptomyces* species showed that a mutant of the strain defective in the production of geldanamycin lost the ability to control the disease (Beausejour *et al.*, 2001).

**Competition for nutrition and space.** There are cases where mutants of biocontrol strains that are deficient in the production of



antimicrobial substances are almost as efficient in biocontrol as the wild type strains (Kempf and Wolf, 1989). This mechanism of biocontrol is related to the colonization ability and other competitive traits of the biocontrol agent. The ability to use a specific compound as an energy source that not all microorganisms are able to use, for example, can provide a competitive advantage to the biocontrol agent. Also, the ability to use and out compete pathogens for inorganic compounds is another important aspect, which would determine whether a potential biocontrol agent will be successful or not in suppressing a pathogen. Iron is one of the resources that can limit growth of plant pathogens and one well-known source for nutrient competition in the rhizosphere (Douling and O'Gara, 1994). By sequestering iron away from invading pathogens, the root-colonizing biocontrol strain prevents it from invading and colonizing the plant roots.

Streptomycetes, along with other bacterial strains belonging to the Actinomycetales have the ability to colonize plant root surfaces (Kortemaa *et al.*, 1994; Tokala *et al.*, 2002). Also, they have the capacity to synthesize extracellular enzymes that allow them to use recalcitrant organic compounds as energy sources and to degrade phytotoxin compounds (Goodfellow and Williams, 1983; Lewis and Starkey, 1969; McCarthy and Williams, 1992). Streptomycetes have the ability to produce iron-chelating compounds, siderophores, that starve pathogens for iron (Tokala *et al.*, 2002). The ability to produce siderophores as a mechanism gives the biocontrol agent a competitive advantage in environments, such as rhizospheres, where soluble iron is scarce (Mullen, 2004).

*Parasitism.* Parasitism is the third mechanism of phytopathogen biocontrol. Mycoparasitism of fungal pathogens can sometimes be attributed to the production of extracellular lytic enzymes such as chitinases (Berg *et al.*, 2002; Chernin *et al.*, 1995; Lorito *et al.*, 1996) and  $\beta$ -1,3 glucanases (Berg *et al.*,

2002; Valois *et al.*, 1996) by a biocontrol agent. These hydrolases initiate the process of physical destruction of the fungal cell walls (FCW) (Adams, 1990). As was mentioned above, actinomycetes have the ability to produce a wide variety of extracellular enzymes that allows them to degrade various biopolymers in soil. Numerous correlations between fungal antagonism and bacterial production of chitinases or glucanases have been noted (Gonzalez-Franco *et al.*, 2003). Also, mature composts amended with chitin residues acquire suppressive properties against fungal plant pathogens. The microbial population of one such suppressive compost was characterized, and mainly Gram-positive bacteria belonging to the actinomycetes were found (Labrie *et al.*, 2001). To have more insight in the correlation of fungal mycoparasitism and bacterial production of lytic enzymes, knowledge of the composition of the FCW is required, and enzymes from known antifungal biocontrol agents need to be isolated and characterized for the mycolytic activities.

## Components of fungal cell walls

Fungal cell walls are made of fibrillar polysaccharides (structural components) including chitin, cellulose or other  $\beta$ -glucans, embedded in a matrix of amorphous components (cementing components) that include polysaccharides, lipids, and proteins that maintain the organization of the whole structure (Ruiz-Herrera, 1992). Some of these components are chemically associated via covalent bonds, although hydrogen bonding and hydrophobic associations are also important in the configuration of the resulting structure (Garret and Grisham, 1998; Gooday, 1990; Ruiz-Herrera, 1992).

Fungal cell walls are made mostly of polysaccharides, which comprise typically about 80-90% of their dry weight (Bartnicki-Garcia, 1968). Proteins, lipids, pigments (e.g. melanins), and inorganic salts are present in smaller amounts (Ruiz-Herrera, 1992).

Bartnicki-Garcia found that cell walls from fungi could be grouped into eight different chemotypes according to their polysaccharide composition (Bartnicki-Garcia, 1968). This author suggested an evolutionary pathway to explain the divergence of the wall chemotypes (Table 2). By far, the most numerous category (including most of the pathogens of plants) is the group V (chitin-glucan), harboring all mycelial forms of the Ascomycetes, Basidiomycetes, and Deuteromycetes. The Chytridiomycetes, are also included (Table 2). Chitin is the most characteristic polysaccharide of the fungal cell walls. It is an unbranched polysaccharide made of N-acetylglucosamine (GlcNAc) joined through  $\beta$ -1,4 bonds. Chitin was once thought to be absent in Oomycetes; however, traces of chitin are actually present in the cell walls of members of this fungal group, including pathogens such as *Phytophthora*, and *Pythium* species (Dietrich, 1973). Differences in the content of chitin between both morphologies of dimorphic fungi have been noticed. However, these differences appear unrelated to either morphology. Some species contain more chitin in the mycelial

form, whereas in others, the opposite occurs. In the case of *Candida albicans*, there is higher amount of chitin present in the cell walls of the mycelial (invasive) form of the fungus that is associated to animal pathogenesis, since data suggest that adhesive properties of invasive mycelial cells are dependent, at least in part, on the chitin present in the cell wall (Lehrer, 1986). The yeast form of *C. albicans* is included in group VI of Bartnicki-Garcia (Table 2), which comprises the yeast forms of the Ascomycetes and Deuteromycetes. Glucans comprise cellulose made of  $\beta$ -1,4 bonded glucose units, and noncellulosic glucans containing variable proportions of  $\beta$ -1,3 and  $\beta$ -1,6 linkages, and  $\alpha$ -1,3 glucans. The noncellulosic glucan type is the most abundant form in fungal cell wall chemotypes (Table 2). Some polysaccharides are characteristic of specific fungal groups, for example chitosan. This deacetylated analog of chitin has been found to be a characteristic component of the cell walls from Zygomycetes (Table 2). Biocontrol agents that have the ability to mycoparasitize fungal pathogens generally produce a variety of hydrolytic enzymes active against multiple cell wall components.

**Table 2.** Chemotypes of fungal cell walls (Bartnicki-Garcia, 1968).

	Chemotype	Taxonomic group
I	Cellulose-glycogen	Acrasiales
II	Cellulose-glucan	Oomycetes
III	Cellulose-chitin	Hyphochytridiomycetes
IV	Chitosan-chitin	Zygomycetes
V	Chitin-glucan	Chytridiomycetes, Euscomycetes, Homobasidiomycetes and Deuteromycetes
VI	Mannan-glucan <sup>b</sup>	Hemiascomycetes
VII	Mannan-chitin	Heterobasidiomycetes
VIII	Polygalactosamine-galactan	Trichomycetes

<sup>a</sup> Incompletely characterized; probably  $\beta$ -1,3- and  $\beta$ -1,6-linked.


<sup>b</sup> Chitin is present in low amounts

## Conclusion remarks

The control of plant diseases is an urgent need for sustainable agriculture. The application of agrochemicals for this purpose, while still an important method in agricultural practices, is not without its problems, such as environmental pollution and detrimental effects on non-target organisms. *Streptomyces* species as biological control agents offer a much needed alternative to the use of synthetic agrochemicals. They produced the natural antibiotics within the microhabitat of the rhizosphere being less polluting and less stressful on indigenous microbes compared with chemical fungicides. They also have the ability to colonize plant root surfaces protecting the plant for pressure of plant pathogens. These biological control agents compete for nutrients and space with plant pathogens; they also synthesize extracellular enzymes that attack the phytopathogenic fungal cell walls and they have the ability to produce descant-resistant spores to survive under water deficiency. All the properties exhibited by actinomycetes, especially those that belong to the genus *Streptomyces* as biological control agents of fungal phytopathogens, not only give us a better understanding in their environmental and ecological benefits, but also in their impact as an attractive alternative for use in agriculture.

## References

- ADAMS, P. B. (1990). The potential of mycoparasites for biological control of plant diseases. *Ann. Rev. Phytopathol.* 28: 59-72.
- ALDERSON, G., Ritchie, D. A., Cappellano, C., Cool, R. H., Ivanova, N. M., Huddleston, A. S., Flaxman, C. S., Kristufek, V. and Lounes, A. (1993). Physiology and genetics of antibiotic production and resistance. *Res. Microbiol.* 144: 665-672.
- BARTNICKI-GARCIA, S. (1968). Cell wall chemistry, morphogenesis, and taxonomy of fungi. *Ann. Rev. Microbiol.* 22: 87-108.
- BEAUSEJOUR, J., Agbessi, S. and Beaulieu, C. (2001). Geldanamycin producing strains as biocontrol agents against common scab of potato. *Can. J. Microbiol.* 23: 194.
- BERG, G., Roskot, N., Steidle, A., Eberl, L., Zockand, A. and Smalla, K. (2002). Plant-dependent genotypic and phenotypic diversity of antagonistic rhizobacteria isolated from different *Verticillium* host plants. *Appl. Environ. Microbiol.* 68: 3328-3338.
- BRANDL, M. T., Quinones, B. and Lindow, S. (2001). Heterogeneous transcription of an indoleacetic acid biosynthetic gene in *Erwinia herbicola* on plant surfaces. *PNAS* 98: 3454-3459.
- BRESSAN, W. (2003). Biological control of maize seed pathogenic fungi by use of actinomycetes. *BioControl* 48: 233-240.
- BUYER, J. S., Roberts, D. P. and Russek-Cohen, E. (2002). Soil and plant effects on microbial community structure. *Can. J. Microbiol.* 48: 955-964.
- CHAMBERLAIN, K. and Crawford, D. L. (1999). *In vitro* and *in vivo* antagonism of pathogenic turfgrass fungi by *Streptomyces hygrosopicus* strains YCED9 and WYE53. *J. of Industrial Microbiol and Biotech* 23: 641-646.
- CHEKININ, L. Z., Z., I., S., H. and Chet, I. (1995). Chitinolytic *Enterobacter agglomerans* antagonistic to fungal plant pathogens. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 1720-1726.
- COOK, R. J. (1993). Making greater use of introduced microorganisms for biological control of plant pathogens. *Ann. Rev. Phytopathol.* 31: 53-80.
- CRAWFORD, D. L., Lynch, J. M., Whipps, J. M. and Ousley, M. A. (1993). Isolation and characterization of actinomycete antagonists of a fungal root pathogen. *Appl. Environ. Microbiol.* 59: 3899-3905.
- DIETRICH, S. M. C. (1973). Carbohydrates from the hyphal walls of some oomycetes. *Biochim Biophys Acta* 313: 95-98.
- DOULING, D. N. and O'Gara, F. (1994). Metabolites of *Pseudomonas* involved in the biocontrol of plant diseases. *Trends in Biotechnology* 12: 133-141.
- DOUMBOU, C.-L., Akimov, V., Cote, M., Charest, P. M. and Beaulieu, C. (2001). Taxonomic study on nonpathogenic streptomycetes isolated from common scab lesions on potato tubers. *Syst. Appl. Microbiol.* 24: 451-456.
- DOUMBOU, C.-L., Hamby-Salove, M. K., Crawford, D. L. and Beaulieu, C. (2002). Actinomycetes, promising tools to control plant diseases and to promote plant growth. *Phytoprotection* 82: 85-102.
- ELAD, Y., Chet, I. and Katan, Y. (1980). *Trichoderma harzianum* a biocontrol agent effective against *Sclerotium rolfsii* and *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology* 70: 119-121.
- GAGE, D. J., Bobo, T. and Long, S. R. (1996). Use of green fluorescent protein to visualize the early events of symbiosis between *Rhizobium meliloti* and alfalfa (*Medicago sativa*). *J. Bacteriol.* 178: 7159-7166.
- GARRET, R. H. and Grisham, C. M. (1998). Carbohydrates. In *Biochemistry*, pp. 209-237. Saunders College Publishing, Orlando.
- GONZALEZ-FRANCO, A. C., Deobald, L. A., Spivak, A. and Crawford, D. L. (2003). Actinobacterial chitinase-like enzymes: profiles of rhizosphere versus non-rhizosphere isolates. *Can. J. Microbiol.* 49: 683-698.
- GOODAY, G. W. (1990). The ecology of chitin decomposition. *Adv. Microb. Ecol.* 11: 387-430.
- GOODFELLOW, M. and Simpson, K. E. (1987). Ecology of streptomycetes. *Frontiers in Applied Microbiology* 2:97-125.
- GOODFELLOW, M. and Williams, S. T. (1983). Ecology of actinomycetes. *Ann. Rev. Microbiol.* 37: 189-216.
- GRAYSTON, S. J., Vaughan, D. and Jones, D. (1996). Rhizosphere carbon flow in trees, in microbial activity and nutrient availability. *Applied Soil Ecology* 5: 29-56.
- GRAYSTON, S. J., Wang, S., Campbell, C. D. and Edwards, A. C. (1998). Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. *Soil. Biol. Biochem.* 30: 369-378.

- HOPWOOD, D. A. (1999). Forty years of genetics with *Streptomyces*: from *in vivo* through *in vitro* to *in silico*. *Microbiol.* 145: 2183-2202.
- JAEGER, C. H., III, Lindow, S. E., Miller, W., Clark, E. and Firestone, M. K. (1999). Mapping of Sugar and Amino Acid Availability in Soil around Roots with Bacterial Sensors of Sucrose and Tryptophan. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 2685-2690.
- KEMPF, H. J. and Wolf, G. (1989). *Erwinia herbicola* as a biocontrol agent of *Fusarium culmorum* and *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* on wheat. *Phytopathology* 79: 990-994.
- KORTEMMAA, H., Rita, H., Haahtela, K. and Smolander, A. (1994). Root-colonization ability of antagonistic *Streptomyces griseoviridis*. *Plant Soil* 163: 77-83.
- LABRIE, C., Leclerc, P., Cote, N., Roy, S., Brezinski, R., Hogue, R. and Beaulieu, C. (2001). Effect of chitin waste based composts produced by two phases composting on two oomycete plant pathogens. *Plant Soil* 235: 27-34.
- LEE, J. Y. and Hwang, B. K. (2002). Diversity of antifungal actinomycetes in various vegetative soils of Korea. *Can. J. Microbiol.* 48: 407-417.
- LEWIS, J. A. and Starkey, R. L. (1969). Decomposition of plant tannins by some soil micro-organisms. *Soil Sci.* 107: 235-241.
- LIGON, J. M., Hill, D. S., Hammer, P. E., Torkewitw, N. R., Hofman, D., Kempt, H.-J. and van Pee, K.-H. (2000). Natural products with antifungal activity from *Pseudomonas* biocontrol bacteria. *Pest Management Science* 56: 688-695.
- LORITO, M., Farkas, V., Rebuffat, S., Bodo, B. and Kubicek, C. (1996). Cell wall synthesis is a major target of mycoparasitic antagonism by *Trichoderma harzianum*. *J. Bacteriol.* 178: 6382-6385.
- MA, J. F., Ryan, P. R. and Delhaize, E. (2001). Aluminum tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends Plant Sci.* 6: 273-278.
- MCCARTHY, A. J. and Williams, S. T. (1992). Actinomycetes as agents of biodegradation in the environment - a review. *Gene* 115: 189-192.
- MULLEN, M. D. (2004). Transformations of phosphorus and other elements. In *Principles and applications of soil microbiology* (ed. D. M. Sylvia, J. J. Fuhrmann, P. G. Hartel and D. A. Zuberer), pp. 369-386. Prentice Hall, New Jersey.
- MUYZER, G. and Smalla, K. (1998). Application of denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) and temperature gradient gel electrophoresis (TGGE) in microbial ecology. *Antonie Van Leeuwenhoek* 73: 127-141.
- RAAJMAKERS, J. M., Vlami, M. and de Souza, J. T. (2002). Antibiotic production by bacterial biocontrol agents. *Antonie Van Leeuwenhoek* 81: 537-547.
- ROTHROCK, C. S. and Gottlieb, D. (1984). Role of antibiosis in antagonism of *Streptomyces hygroscopicus* var. *geldanus* to *Rhizoctonia solani* in soil. *Can. J. Microbiol.* 30: 1440-1447.
- ROVIRA, A. D. (1965). Interactions between plant roots and soil microorganisms. *Annual Review of Microbiology* 19: 241-266.
- RUIZ-HERRERA, J. (1992). *Fungal cell wall: structure, synthesis, and assembly*. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- SANGLIER, J. J., Haag, H., Juck, T. A. and Fehr, T. (1993). Novel bioactive compounds from actinomycetes: a short review (1988-1992). *Res. Microbiol.* 144: 633-642.
- SCHNEIDER, M. and De Bruijn, F. J. (1996). Rep-PCR mediated genomic fingerprinting of rhizobia and computer-assisted phylogenetic pattern analyses. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 12: 163-174.
- SMUCKER, A. J. M. (1993). Soil Environmental Modifications of Root Dynamics and Measurement. *Annual Review of Phytopathology* 31: 191-218.
- STACKEBRANDT, E., Rainey, F. A. and Ward-Rainey, N. L. (1997). Proposal for a new hierarchic classification system, *Actinobacteria* classis nov. *International Journal of Systematic Bacteriology* 47: 479-491.
- TAHVONEN, R. and Avikainen, H. (1987). The biological control of seedborne *Alternaria brassicicola* of cruciferous plants with a powdery preparation of *Streptomyces* sp. *J. Agric. Sci. Finl.* 59: 199-208.
- TANAKA, Y. and Omura, S. (1993). Agroactive compounds of microbial origin. *Ann. Rev. Microbiol.* 47: 57-87.
- TOKALA, R. K., Strap, J. L., Jung, C. M., Crawford, D. L., Hamby Salove, M., Deobald, L. A., Bailey, J. F. and Morra, M. J. (2002). Novel plant-microbe rhizosphere interaction involving *Streptomyces lydicus* WYEC-108 and the pea plant (*Pisum sativum*). *Applied and Environmental Microbiology* 68: 2161-2171.
- TREJO-ESTRADA, S. R., Paszczynski, A. and Crawford, D. L. (1998a). Antibiotics and enzymes produced by the biocontrol agent *Streptomyces violaceusniger* YCED-9. *J. of Industrial Microbiol and Biotech* 21: 81-90.
- TREJO-ESTRADA, S. R., Rivas-Sepulveda, I. and Crawford, D. L. (1998b). In vitro and in vivo antagonism of *Streptomyces violaceusniger* YCED-9 against fungal pathogens of turfgrass. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 14: 865-872.
- VALOIS, D., Fayad, K., Barasubiye, T., Garon, M., Dery, C., Brzezinski, R. and Beaulieu, C. (1996). Glucanolytic actinomycetes antagonistic to *Phytophthora fragariae* var. *rubi*, the causal agent of raspberry root rot. *Appl. Environ. Microbiol.* 62: 1630-1635.
- VINING, L. C. (1990). Functions of secondary metabolites. *Ann. Rev. Microbiol.* 44: 395-427.
- WARREN, R. A. J. (1996). Microbial hydrolysis of polysaccharides. *Ann. Rev. Microbiol.* 50: 183-212.
- WELLER, D. M. (1988). Biological control of soil borne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. *Ann. Rev. Phytopathol.* 26: 379-407.
- WILLIAMSON, N., Brian, P. and Wellington, E. M. (2000). Molecular detection of bacterial and streptomycete chitinases in the environment. *Antonie Van Leeuwenhoek* 78: 315-21.
- YANG, C.-H. and Crowley, D. E. (2000). Rhizosphere microbial community structure in relation to root location and plant iron nutritional status. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 345-351.
- YUAN, W. M. and Crawford, D. L. (1995). Characterization of *Streptomyces lydicus* WYEC108 as a potential biocontrol agent against fungal root and seed rots. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 3119-3128. 



Este artículo es citado así:

González-Franco A. C. y L. Robles-Hernández. 2009: *Actinomycetes as biological control agents of phytopathogenic fungi*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 3(2): 64-73.

## Resúmenes curriculares de autor y coautores

**ANA CECILIA GONZÁLEZ-FRANCO.** Es profesora-investigadora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Obtuvo su licenciatura en la Facultad de Ciencias Químicas, su maestría en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua y su doctorado en Microbiología, Biología Molecular y Bioquímica lo obtuvo en la Universidad de Idaho, USA. Su área de investigación se centra en el control biológico de enfermedades y en la interacción-microorganismo-planta. Imparte las cátedras de Interacción Microorganismo Planta, Bioquímica, Química y Biotecnología. Asesora estudiantes de licenciatura y posgrado. Es responsable del área de microbiología aplicada y biología molecular en el Laboratorio de Microbiología Aplicada, Fitopatología y Fisiología Post-cosecha de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, UACH.

**LORETO ROBLES-HERNÁNDEZ.** Es profesor-investigador de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su licenciatura en 1992, su maestría en 1994 en la misma institución y su doctorado en la Universidad de Idaho, USA en 2004. Su investigación se centra en la epidemiología de enfermedades de plantas, con énfasis en aquellas causadas por virus y por bacterias fitopatógenas. Imparte los cursos de Fitopatología, Microbiología, Control Biológico y Fisiología Post-cosecha. Asesora estudiantes de licenciatura y maestría. Está a cargo del área de fitopatología y fisiología post-cosecha en el laboratorio de Microbiología Aplicada, Fitopatología y Fisiología de Post-cosecha de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, UACH.

# Componentes de varianza de caracteres de maíz asociados al nixtamal

## Components of variance of maize traits associated to nixtamal

JOSÉ SALAZAR-MARTÍNEZ<sup>1,5</sup>, AURELIO GUEVARA-ESCOBAR<sup>2</sup>, GUADALUPE MALDA-BARRERA<sup>2</sup>,  
CÉSAR HUMBERTO RIVERA-FIGUEROA<sup>3</sup> Y YOLANDA SALINAS-MORENO<sup>4</sup>

Recibido: Mayo 4, 2009

Aceptado: Agosto 29, 2009

### Resumen

Los componentes de varianza y la heredabilidad de características de grano blanco, relacionadas con la calidad industrial de la harina nixtamalizada, fueron estimadas en cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) del tipo "media altura". El objetivo del trabajo fue conocer los componentes de varianza, la heredabilidad y la correlación de características de grano blanco asociadas con la calidad industrial del nixtamal de híbridos de maíz. Durante el ciclo Verano 2003, se estableció el experimento bajo condiciones de riego en tres localidades representativas de la región El Bajío. Se evaluaron nueve características físicas de grano y siete asociadas al proceso de "nixtamalización". Se identificaron cinco rasgos de interés para la industria del nixtamal: Peso o masa hectolítrica (densidad de grano) y peso de 100 granos, asociados al rendimiento de grano a tortilla; endospermo tipos harinoso y córneo, relacionados con la calidad de la tortilla; pericarpio retenido, asociado al rendimiento de grano a tortilla. La variable pericarpio retenido mostró una heredabilidad alta ( $h^2 > 0.50$ ), mientras que los caracteres peso hectolítrico, peso de cien granos, endospermo harinoso y endospermo córneo presentaron baja heredabilidad ( $h^2 < 0.50$ ). De acuerdo a los resultados observados en esta investigación, se recomienda seleccionar grano de maíz con valores de endospermo (porcentaje base seca del grano) de tipo harinoso menor de 36.4 %, tipo duro o córneo mayor de 46.4 %; además, el pericarpio retenido debería ser mayor de 35.8 %.

**Palabras clave:** Componentes de varianza, heredabilidad, coeficiente de variación genética, calidad de nixtamal, pericarpio retenido

### Abstract

Components of variance and heritability of white grain characteristics, related to industrial quality of nixtamalized corn flour, were estimated in five maize hybrids (*Zea mays* L.) type "media altura". The objective of this study was to know components of variance, heritability and correlation coefficients among grain traits associated to nixtamal quality of white grain maize hybrid. During the Summer-2003 season, an experiment was established under irrigation conditions in three locations representative of the agriculture region "El Bajío". Nine physical characteristics of grain and seven more traits associated to corn "nixtamalización" industrial process were evaluated. Five important characteristics for "nixtamal" industry were identified: Hectoliter weight (grain density) and weight of 100 grains, associated to yield of grain to tortilla; endosperm corn types flour and hard, related to tortilla quality; retained pericarp, associated to yield of grain to tortilla. The variable retained pericarp showed a high heritability ( $h^2 > 0.50$ ), while for the characteristics: Hectoliter weight, weight of 100 grains, endosperm types flour and hard were the estimated heritability values were lower than 0.50. According to the observed results, it is recommendable to select endosperm corn values (percentage based on grain dry weight) type flour below 36.4 %, type hard greater than 46.4 %; moreover, the retained pericarp should be above 35.8 %.

**Keywords:** Components of variance, heritability, genetic variation coefficient, nixtamal quality, retained pericarp

<sup>1</sup> Estudiante del Programa de Doctorado, Facultad de Ciencias Naturales-Biología. Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Universitario s/n. Cerro de las Campanas. Querétaro, México. C. P. 76010. Teléfono: (442)192-1200, extensión 5371.

<sup>2</sup> Profesor de la Facultad de Ciencias Naturales-Biología. Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Universitario s/n. Cerro de las Campanas. Querétaro, México. C. P. 76010. Teléfono: (442)192-1200, extensión 5371.

<sup>3</sup> Jefe del Departamento de Investigación, Dirección de Investigación y Posgrado. Universidad Autónoma de Chihuahua. Campus Universitario # 1, Chihuahua, Chihuahua. México. C. P. 31170. Teléfono: (614) 439-1822. FAX: (614) 439-1823.

<sup>4</sup> Laboratorio de Calidad de Maíz, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental "Valle de México". Apartado postal 10, Chapingo, Estado de México. México. C. P. 56230.

<sup>5</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: mu\_technology@yahoo.com.mx.

## Introducción

**E**l maíz (*Zea mays* L.) representa uno de los cereales de mayor importancia para la alimentación de la población latinoamericana; en México es el cultivo más importante y la principal fuente de alimentos. Rosa *et al.* (2006) comentan que la producción anual es de 18.2 millones de toneladas de maíz en una superficie de 8.5 millones de hectáreas, y que los híbridos de grano blanco representan 95 % del total de híbridos, destinados principalmente para consumo humano.

México posee la mayor diversidad genética de maíz, la cual se manifiesta en variación de caracteres morfológicos vegetativos, así como de espiga, mazorca y grano, y en la composición química del grano, de las 436 razas reportadas en el continente americano, 50 se encuentran en México (Goodman y Brown, 1988). La mayor diversidad de razas, y variedades del maíz que se concentran en México, han formado parte del germoplasma con el que se han desarrollado variedades de alto rendimiento y adaptabilidad, así como la producción de híbridos para zonas de riego (Sánchez y Goodman, 1992).

La mayor parte de la producción de grano proveniente de híbridos, se destina principalmente a la industria, mientras que el grano proveniente de las variedades criollas se destina principalmente al autoconsumo. La mayor superficie sembrada con híbridos de maíz y variedades mejoradas se localiza en la Región del Pacífico (clima tropical), representada principalmente por Sinaloa y El Bajío (clima templado), principalmente en los estados de Jalisco, Guanajuato y Querétaro (SFAB–Canacinttra, 2002).

En cuanto a la cantidad y formas de consumo de grano de maíz, en México, por ejemplo, existe una gran diversidad de productos nixtamalizados, que forman parte de la alimentación de la población, como tortilla, pinole, atole, tostada, tamal y elote; de éstos, la tortilla constituye el principal producto, cuyo consumo *per cápita* es de 328 g por día (Figueroa *et al.*, 2001). Para mejorar la calidad industrial del grano de maíz es necesario el análisis de los parámetros físicos y químicos

del grano, porque están estrechamente asociados con el proceso de elaboración de productos nixtamalizados (Salinas y Arellano, 1989). Un análisis del proceso de nixtamalización y del producto terminado, se enfoca en características como: pericarpio retenido, humedad del nixtamal, pérdida de sólidos, rendimiento de grano a masa y a tortilla, color de la masa y color de la tortilla.

Dado que el ambiente, el genotipo, y la interacción entre ambos factores tienen influencia sobre las características de calidad del grano, es fundamental aprovechar la variabilidad genética disponible para elevar el rendimiento, mejorar la calidad de grano y eficientizar el proceso de nixtamalización (Ehdaie y Waines, 1989). Araújo *et al.* (2008) comentan que poco se conoce acerca de la heredabilidad de las características físicas y químicas del grano de maíz que se correlacionan con la calidad industrial del nixtamal, y menos aún sobre el grado de influencia que el ambiente ejerce sobre ellas. Arnhold, *et al.* (2006) estudiaron varios caracteres funcionales en maíz palomero, encontrando una correlación positiva entre capacidad de expansión del grano y producción.

El conocimiento de la heredabilidad de tales características de grano y de sus correlaciones puede ser útil en un programa de mejoramiento genético, mediante la selección simultánea de dos o más rasgos y un manejo óptimo del ambiente de cultivo (Espitia-Rangel *et al.*, 2004). El presente trabajo tiene como objetivo conocer los componentes de varianza, la heredabilidad y la correlación de características de grano blanco asociadas con la calidad industrial del nixtamal de híbridos de maíz.

## Materiales y métodos

**Establecimiento del experimento.** Durante el ciclo primavera-verano de 2003, se comparó el comportamiento de cinco híbridos comerciales de maíz de grano blanco, del tipo denominado «media altura». Estos híbridos (Cuadro 1) son parcialmente representativos de la variabilidad genética de la empresa Monsanto; modelo de «efecto fijo», dicha empresa es líder en mejoramiento genético de maíz y en la producción y comercialización de semilla híbrida, con un participación de mercado en México del 65 %. Para evaluar el efecto del medio ambiente, se sembró en tres localidades: Pedro Escobedo (Querétaro), La Barca (Jalisco) y Ciudad Guzmán (Jalisco); ubicadas en El Bajío. Las condiciones de siembra se apegaron al programa de evaluación de híbridos de riego de la compañía Monsanto.

**Cuadro 1.** Características agronómicas de los híbridos de maíz de cruz triple

Nombre del híbrido	Días a floración		Altura (cm)		Mazorcas Promedio (%)	Tipo de grano
	Masculina	Femenina	Planta	Mazorca		
León	83	85	268	115	95-105	Dentado
DK 2002	86	88	253	117	95-105	Dentado
Puma	83	84	228	115	95-105	Dentado
Tigre	82	84	252	112	95-105	Dentado
DK 2000	73	76	243	85	95-105	Dentado

**Fuente:** Datos proporcionados por el Dr. Manuel Oyervides de Monsanto Company

**Diseño experimental.** Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en localidades (diseño combinado), en un arreglo de tratamientos factorial 3 (ambientes) x 5 (genotipos), con dos repeticiones por tratamiento. El factor A consistió en las tres localidades, mientras que el factor B estuvo representado por los cinco híbridos comerciales. La parcela experimental consistió en cuatro surcos de 6 m de largo, espaciados 100 cm y con una separación entre plantas de 12.5 cm, lo que representa una densidad de población de

aproximadamente 80,000 plantas por hectárea, un número de plantas ampliamente utilizado en El Bajío mexicano. Para la recolección de muestras de grano y la toma de datos, se eligió como unidad de muestreo a los dos surcos centrales, sin incluir las plantas de los extremos, para reducir el efecto de orilla, la muestra de grano al 14 % de humedad fue de 1.0 kg.

**Toma de datos y variables.** Las determinaciones y análisis de las características de calidad del grano se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Texcoco, Estado de México.

**Caracterización física del grano.** *Índice de Flotación (IF).* Número de granos flotantes ( $N_f$ ) de un total de 100, colocados en una solución de nitrato de sodio ( $IF = N_f/100$ ) a una densidad de  $1.25 \text{ g ml}^{-1}$  (Salinas *et al.*, 1992). *Peso hectolítrico (PH)* o peso específico, se expresa como el peso (kg) de un volumen de 100 l (hl) de grano de maíz ( $\text{kg hl}^{-1}$ ); para su medición se tomó como base el método 14-40, recomendado por la American Association of Cereal Chemists (1976). *Peso de 100 granos de maíz (PCG)*, medido en g con balanza semianalítica Sartorius modelo BL610 en una muestra de 100 granos extraídos al azar de la población. *Color de grano (CG)*, expresado como la reflectancia (%) medida con un colorímetro tipo Agtron 500-A, a la longitud de onda de 546 nm (al color verde). Componentes anatómicos del grano o bien fracción del grano expresada como porcentaje, con respecto al peso seco de la muestra de grano, compuesta por el pico (Pi), pericarpio (Pe), germen (Ge), almidón harinoso (AH) y almidón córneo (AC). Tales características fueron registradas de acuerdo con las recomendaciones de González (1995). Todos los análisis de laboratorio fueron realizados por duplicado.

**Proceso de nixtamalización.** Se realizó en muestras de 100 g de grano, utilizando 1 % de cal comercial (nixtacal) y 200 ml de agua



destilada. Los granos de maíz y los solventes se mezclaron en un vaso de precipitados de 600 ml, calentó en una parrilla para nixtamalización hasta alcanzar el punto de ebullición. El tiempo de cocción fue asignado de acuerdo con la dureza del grano; medida por el índice de flotación (Salinas y Arellano, 1989). Después de la cocción, las muestras se dejaron en reposo a temperatura ambiente por un periodo de 14-16 horas, posteriormente se enjuagó el nixtamal y se colocó en un molino de piedras para obtener la masa.

Las tortillas se moldearon en una prensa manual y se cocieron sobre una plancha metálica. Una vez cocidas, las tortillas se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 min., tapadas con una manta de algodón. Después se empacaron en bloques de 20 tortillas por tratamiento, se colocaron en bolsas de polietileno tipo Ziploc, se envolvieron en una manta para evitar pérdidas de humedad y se almacenaron a  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  (ambiente).

**Caracteres de nixtamalización.** Las características asociadas al proceso de nixtamalización aquí determinadas (Salinas y Arellano, 1989) fueron: *Humedad del nixtamal (HN)*, expresada como porcentaje de agua por 100 g de nixtamal. *Pérdida de sólidos (PS)*, estimada a partir del peso seco de los residuos de la nixtamalización y lavado, y expresada en porcentaje con respecto al peso total del grano en base seca. *Pericarpio retenido (PR)*, después de pesar el pericarpio del grano y de hacer la nixtamalización, se enjuagó el nixtamal y se cuantificó el pericarpio retenido al grano, cuyo valor se expresó como porcentaje respecto al pericarpio presente en el grano crudo, es decir, el porcentaje de pericarpio remanente. *Color de la masa (CM)*, *color de la tortilla (CT)* *color del grano (CG)*, fueron medidas como reflectancia (%) y con el colorímetro Agtron 500-A a una longitud de onda de 546 nm. *Rendimiento de grano: masa (RGM)* y *rendimiento de grano: tortilla (RGT)* se determinaron a partir de una muestra de 100 g de grano nixtamalizado, y los productos

correspondientes fueron expresados como porcentajes con respecto a 1 kg de grano.

**Modelo estadístico.** Se utilizó el método de Espita-Rangel *et al.* (2004) para realizar el análisis estadístico de las variables seleccionadas. Previo al análisis estadístico, los datos de las variables expresadas en porcentaje se transformaron a su valor logarítmico para cumplir así con el supuesto de normalidad. La prueba de Tukey se usó para realizar las comparaciones múltiples de medias y la obtención de los grupos de significancia, con  $\alpha = 0.05$  (nivel de significancia del 5 %).

Para la estimación de componentes de varianza, los factores ambiente y genotipo fueron considerados como efectos aleatorios. Las varianzas se calcularon a partir de las esperanzas de cuadrados medios (ECM) del análisis combinado, según se indica en el Cuadro 2. Para el cálculo de los componentes de la varianza fenotípica, se utilizaron los cuadrados medios de genotipos ( $CM_G$ ), interacción GxA ( $CM_{GxA}$ ) y del error ( $CM_e$ ).

**Cuadro 2.** Análisis de varianza y esperanzas de cuadrados medios (ECM) de genotipos (híbridos) de maíz y ambientes (localidades) para un modelo aleatorio.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	ECM
Repeticiones (R)	$a(r - 1)$	$CM_R$	
Ambientes (A)	$(a - 1)$	$CM_A$	
Genotipos (G)	$(g - 1)$	$CM_G$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{GxA}^2 + ra\sigma_G^2$
G x A	$(g - 1)(a - 1)$	$CM_{GxA}$	$\sigma_e^2 + r\sigma_{GxA}^2$
Error (e)	$a(g - 1)(a - 1)$	$CM_e$	$\sigma_e^2$

$$\sigma_e^2 = CM_e; \sigma_{GxA}^2 = (CM_{GxA} - CM_e)/r; \sigma_G^2 = (CM_G - CM_{GxA})/ra;$$

$$\sigma_F^2 = \text{Varianza fenotípica} = \sigma_G^2 + \sigma_{GxA}^2 + \sigma_e^2$$

El coeficiente de variación genética [CVG<sub>(%)</sub>] de cada variable fue estimado como el valor que resulta al dividir la desviación estándar genética ( $\sigma_G$ ) por la media genotípica ( $\mu_G$ ), esta última estimada a partir del promedio de los híbridos, y dicho cociente fue multiplicado por 100 para expresarse en porcentaje. Este parámetro permite comparar la variación

genética de las características; para facilitar su interpretación, los valores se agruparon bajo las categorías siguientes: *Alto* (CVG > 20 %), *medio* (CVG = 10-20 %) y *bajo* (CVG < 10 %).

La heredabilidad ( $H^2$ ) se obtuvo como el cociente que resulta al dividir la varianza genética estimada ( $\sigma_G^2$ ) por la varianza fenotípica ( $\sigma_F^2$ ):  $H^2 = \sigma_G^2 / \sigma_F^2$ .

Para el cálculo de las correlaciones parciales (correlaciones Pearson), se utilizó el paquete estadístico Minitab (2003). También se estimaron las correlaciones genéticas entre caracteres físicos del grano y de nixtamalización.

estudiar la calidad industrial de trigos encontraron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en todas las características de grano analizadas, en respuesta a los factores genotipo, ambiente e interacción genotipo x ambiente.

En la Figura 1 se presenta la contribución relativa de cada componente de la varianza, la variación total, para nueve caracteres físicos del grano. El componente genotipo (híbridos) fue el más importante para los caracteres de grano: CG, AH, Ge y AC, cuyos valores aproximados fueron 60, 49, 44 y 40 %, respectivamente; el factor ambiente fue el componente de mayor importancia en las variables: Pe, Pi, IF, PH y PCG, y cuyos valores respectivos fueron: 55, 57, 68,

**Cuadro 3.** Cuadrados medios, significancia estadística y coeficientes de variación (CV) de 16 caracteres de grano y calidad industrial de híbridos de maíz (Primavera-Verano 2003).

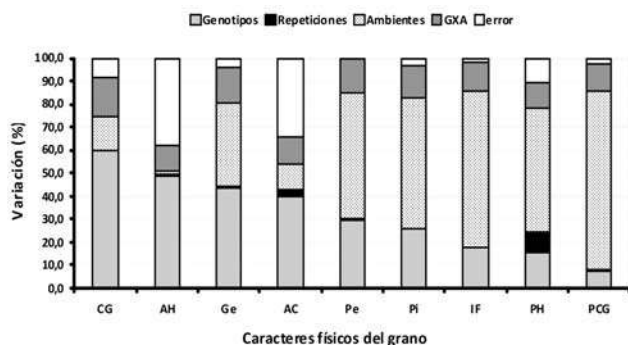
Caracteres de grano	CMR	CMA	CMG	CMGxA	CMe	CV (%)
Peso hectolítrico (PH)	3.030	18.830*	5.290	3.680	3.670	2.1
Índice de flotación (IF)	0.000	1079.00*	280.00*	204.00*	24.000	22.5
Color de grano (CG)	0.900	148.000	606.00*	170.00	84.000	12.2
Peso 100 granos (PCG)	0.200	71.400*	6.900	10.600*	2.200	4.3
Pico (Pi)	0.000	0.071*	0.032*	0.017	0.004	7.1
Pericarpio (Pe)	0.007	1.395*	0.755*	0.363*	0.009	1.8
Germen (Ge)	0.030	2.290*	2.750*	0.970	0.260	4.7
Almidón harinoso (AH)	2.200	9.800	34.200	9.800	29.000	14.8
Almidón córneo (AC)	0.700	0.800	39.200	9.100	30.500	11.9
Pericarpio retenido (PR)	0.700	101.200	69.400	30.000	36.400	16.8
Humedad nixtamal (HN)	0.040	4.000*	17.500*	2.200	0.300	1.4
Pérdida de sólidos (PS)	0.050	0.480*	1.520*	0.440	0.110	10.1
Rendimiento grano:masa (RGM)	0.000	0.018	0.035	0.011	0.013	5.9
Color masa (CM)	0.000	244.600*	36.900	39.800	16.400	5.3
Rendimiento grano:tortilla (RGT)	0.000	0.002	0.016	0.004	0.009	6.5
Color tortilla (CT)	0.700	216.600*	62.300*	42.600*	8.700	3.8

(\*) Significativo al 5 % ( $\alpha = 0.05$ )

## Resultados y discusión

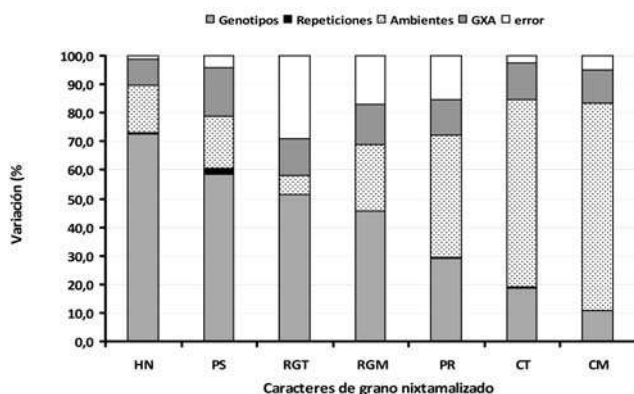
El análisis de varianza combinado mostró diferencias significativas entre genotipos para las características de grano: IF, CG, Pi, Pe, Ge, HN, PS y CT; el factor ambiente tuvo efecto significativo sobre los caracteres de grano: PH, IF, PCG, Pi, Pe, Ge, HN, PS, CM y CT; y la interacción genotipo x ambiente (G x A) resultó significativa en las variables: IF, PCG, Pe y CT (Cuadro 3). Espitia-Rangel *et al.*, (2004), al

55 y 78 %. Los resultados observados en este trabajo no coinciden con los reportados por Pomeraz *et al.* (1985) y Bergman *et al.* (1998), quienes mencionan al genotipo como la principal fuente de variación en la textura de grano, que es una propiedad física. La interacción genotipo x ambiente fue la tercera en magnitud para todas las variables, excepto para AH y AC donde la variación atribuible al error mostró valores de 38.0 y 34.1 %.



**Figura 1.** Proporción de la suma de cuadrados del total atribuible a diversas fuentes de variación de cinco genotipos y tres ambientes (primavera-verano, 2003)

En el caso de los caracteres de grano nixtamalizado (HN, PS, RGT y RGM) el principal componente de varianza fue atribuible al factor genotipo, con valores aproximados de 73, 59, 52 y 46 %, respectivamente (Figura 2). El componente ambiente tuvo su mayor contribución en los caracteres PR, CT y CM, con valores respectivos de 43, 66 y 72 %; estos resultados concuerdan con investigaciones realizadas en trigo, acerca de características asociadas con la calidad (Peterson *et al.*, 1992; Garybosch *et al.*, 1996; y Espitia-Rangel *et al.*, 1999). La variación debida a la interacción genotipo x ambiente fue importante en la característica PS (17 %), en tanto que en la variable RGT, el componente de varianza atribuible al error fue la más alta (29 %).



**Figura 2.** Variación (%) de caracteres de grano nixtamalizado atribuible a diversas fuentes de variación (primavera-verano, 2003).

Las características de grano: IF, PS y CG exhibieron los coeficientes de variación genética

más altos, con valores de 76.7, 37.1 y 33.0 %; por el contrario, los caracteres PH, PCG y CM mostraron los más bajos de CVG, con valores de 2.9, 7.5 y 7.9 %, respectivamente (Cuadro 4). Esto sugiere que los caracteres de grano nixtamalizado poseen una reducida variación genética.

El mayor rango (diferencia entre los valores máximo y mínimo) corresponde a las características IF, CG y PR, cuyos valores respectivos fueron 53, 34.6 y 24.8; esta amplitud del CG fue muy superior a la reportada por Sánchez *et al.* (2007), con un valor de 3.0 observado en maíces normales y de alta calidad de proteína. Esto sugiere la posibilidad de aplicar selección para reducir la amplia variabilidad en el color del grano. Los caracteres: Pi, Pe, Ge, AH y AC mostraron un coeficiente de variación intermedio y un rango muy bajo. Estos resultados también sugieren que estos caracteres de grano nixtamalizado poseen una reducida variación genética.

Las heredabilidades (Cuadro 4) fueron superiores a 0.5 en la mayoría de las características de grano analizadas, y sus valores en orden decreciente fueron: HN (0.77), PS (0.73), CG (0.70), Ge (0.69), Pe (0.67), Pi (0.60), RGM (0.60), IF (0.55), RGT (0.55), CT (0.55) y PR (0.51); lo que sugiere que estos caracteres pueden ser mejorados más fácilmente que los demás, porque la variación observada es principalmente de naturaleza genética. En contraste, AC, AH, PCG y CM tuvieron heredabilidades menores a 0.50, lo que indica que la respuesta esperada a la selección sería comparativamente más baja, probablemente porque en este grupo de variables existe una mayor influencia de la interacción genotipo x ambiente. Normalmente los fitomejoradores seleccionan plantas que producen mazorcas grandes y de mayor peso de grano, para incrementar el rendimiento por hectárea; en algunos estudios han sido reportados valores de heredabilidad altos para peso de grano, PCG y PH, muy similares a los observados en este trabajo (Navarro *et al.*, 1992).

**Cuadro 4.** Coeficiente de variación genética (CVG), media y heredabilidad (H<sup>2</sup>) de 16 caracteres de grano y calidad industrial de híbridos de maíz (Primavera – Verano 2003).

Caracteres de grano	CVG (%)	Media	Máximo	Mínimo	H <sup>2</sup>
Peso hectolítrico (PH)	2.9	78.1	84.3	74.3	0.45
Índice de flotación (IF)	76.7	21.7	55.0	2.0	0.55
Color de grano (CG)	33.0	74.7	96.9	62.0	0.70
Peso 100 granos (PCG)	7.5	35.0	41.3	29.2	0.24
Pico (Pi)	19.2	0.93	1.11	0.63	0.60
Pericarpio (Pe)	16.4	5.3	6.4	3.9	0.67
Germen (Ge)	15.3	10.9	12.7	9.1	0.69
Almidón harinoso (AH)	16.1	36.4	45.2	29.6	0.47
Almidón córneo (AC)	13.5	46.4	53.7	37.7	0.49
Pericarpio retenido (PR)	23.3	35.8	47.0	22.2	0.51
Humedad nixtamal (HN)	9.7	43.1	47.7	40.2	0.77
Pérdida de sólidos (PS)	37.1	3.3	4.5	2.2	0.73
Rendimiento grano:masa (RGM)	9.8	1.89	2.05	1.61	0.60
Color masa (CM)	7.9	77.1	84.0	67.0	0.18
Rendimiento grano:tortilla (RGT)	8.6	1.49	1.63	1.31	0.55
Color tortilla (CT)	10.0	78.7	91.0	69.0	0.55

En cuanto a las correlaciones entre los caracteres de nixtamalización y los caracteres físicos del grano, la variable PR presenta una correlación negativa significativa con Pe (-0.384) que indica que al aumentar el valor de Pe, disminuye el PR en el grano nixtamalizado (Cuadro 5). Por el contrario, la variable Pe mostró una correlación positiva con el carácter HN (0.200), que se explica por el alto contenido

de fibra presente en el Pe y que permite una mayor absorción de agua (González *et al.*, 2004). La PS mostró una correlación positiva significativa con las características de grano PH, Pe, y AC y una correlación negativa con IF y AH; estos últimos dos caracteres están relacionados directamente con la suavidad del grano, lo que indica que a mayor dureza del grano, aumenta la pérdida de sólidos (Sahai *et al.* 2000).

**Cuadro 5.** Correlaciones entre caracteres físicos y calidad industrial de grano nixtamalizado de híbridos comerciales de maíz (Primavera – Verano 2003).

Caracteres físicos de grano de maíz	Caracteres de grano nixtamalizado						
	PR	HN	PS	RGM	CM	RGT	CT
Peso hectolítrico (PH)	-0.121	-0.151	-0.386*	-0.207*	-0.110	-0.247*	0.097
Índice de flotación (IF)	0.010	0.069	-0.350*	0.126	0.086	0.127	-0.095
Color de grano (CG)	-0.158	0.104	-0.160	0.001	-0.033	0.134	0.019
Peso 100 granos (PCG)	-0.124	-0.112	0.084	-0.340*	-0.401*	-0.176	-0.187
Pico (Pi)	0.166	-0.164	0.185	0.120	0.284*	-0.037	0.293*
Pericarpio (Pe)	-0.384*	0.200	0.614*	0.013	0.006	-0.128	0.148
Germen (Ge)	0.045	0.003	-0.041	-0.002	0.089	-0.029	0.041
Almidón harinoso (AH)	0.003	0.127	-0.292*	-0.012	-0.255*	0.178	-0.341*
Almidón córneo (AC)	0.042	-0.157	0.218*	0.006	0.252*	-0.168	0.321*

(\*) Significativo al 5 % ( $\alpha = 0.05$ )



Se encontraron correlaciones negativas significativas entre RGM y las características PH y PCG; la variable RGT también presentó una correlación negativa con PH, Billeb y Bressani (2001) encontraron que la «uniformidad» de la densidad y tamaño del grano es fundamental para una mayor eficiencia en la transformación de grano a tortilla. La situación anterior plantea un dilema para el mejorador de plantas, cuyo objetivo es seleccionar plantas con mayor peso de grano (Navarro *et al.*, 1992). Se encontró una correlación negativa significativa entre CM y las características PCG y AH; además, mostró correlación positiva significativa con las variables Pi y AC, la cual tiene un valor para el fitomejorador con una correlación de 0.614; la más alta del experimento. Es de llamar la atención que no haya una correlación significativa entre CG versus CM y CT, esto indica que el color del grano no está relacionado

de fibra que favorece una mayor absorción de agua (González *et al.*, 2004), Arámbula-Villa *et al.* (2001) encontraron que la humedad del nixtamal óptima para producir tortillas es de 42 a 44 %. Se encontró una correlación positiva significativa entre HN y los caracteres de grano nixtamalizado PS y RGM. PS y RGM exhibieron una correlación positiva. Del mismo modo RGM está positivamente correlacionada con CM, RGT y CT; CM con RGT y CT.

*Criterios de selección para calidad.* La respuesta a la selección depende de la variación genética disponible, de la heredabilidad de las características de grano y de la asociación del carácter a mejorar con las variables de interés para la industria del nixtamal.

Los híbridos de maíz blanco comparados en el presente estudio poseen una limitada variabilidad genética (< 10 %) para los caracteres PH y PCG cuya heredabilidad es

**Cuadro 6.** Correlaciones entre caracteres de grano nixtamalizado de híbridos comerciales de maíz (Primavera – Verano 2003).

Caracteres de grano nixtamalizado	Caracteres de grano nixtamalizado					
	HN	PS	RGM	CM	RGT	CT
Pericarpio retenido (PR)	0.444*	-0.351	0.564*	0.364*	0.483*	0.100
Humedad nixtamal (HN)		0.471*	0.563*	-0.118	0.198	-0.083
Pérdida de sólidos (PS)			0.499*	-0.184	0.313	0.241
Rendimiento grano:masa (RGM)				0.430*	0.725*	0.400*
Color masa (CM)					0.371*	0.634*
Rendimiento grano:tortilla (RGT)						0.356

(\*) Significativo al 5 % ( $\alpha = 0.05$ )

con el color de la masa y el color de la tortilla, Salinas-Moreno (2007) descubrieron que los compuestos fenolicos en el endospermo del grano de maíz favorecen el oscurecimiento de la masa y la tortilla.

En el Cuadro 6 se presentan las correlaciones de Pearson para los caracteres de nixtamalización. El PR presentó una correlación positiva significativa con las variables: HN, RGM, CM y RGT. Anteriormente se mencionó que el Pe posee un alto contenido

baja; 0.45 y 0.24 respectivamente. Por ello es deseable introducir genotipos de mayor variabilidad para estos caracteres, y seleccionar híbridos cuyos valores de PH sean menores de 78.1 kg HI<sup>-1</sup> y PCG menores de 35 g (Secretaría de Economía, 2001). La variabilidad genética y la heredabilidad para HA y AC presentaron valores intermedios (10 a 20 %), por lo que es posible utilizar estos caracteres como criterios de selección, buscando valores de AH menores de 36.4 % y

AC mayores de 46.4 % (Gruma, 2008). Dado que la variabilidad genética y la heredabilidad del carácter PR presentaron valores altos; 23 % y 0.51 respectivamente, es posible utilizarlo como un criterio de selección, procurando que la media del híbrido sea superior a 35.8 % (Billeb y Brezan, 2001).

Es factible las empresas semilleras manejen un programa de mejoramiento alterno, trabajando de manera simultánea rendimiento agrícola y funcionalidad industrial de los híbridos, Vásquez-Carrillo *et al.* (2003) desarrollaron un programa de mejoramiento genético de materiales criollos mediante retrocruza limitada; logrando mejorar el rendimiento agrícola y modificando los caracteres físicos del grano para lograr una mayor calidad de nixtamalización.

## Conclusiones

El componente genotipo fue la principal causa de variación para los caracteres físicos de grano color de grano, almidón harinoso, germen y almidón córneo; así como también para las variables de nixtamalización: humedad del nixtamal, pérdida de sólidos, rendimiento grano tortilla y rendimiento grano masa.

El factor ambiente fue el componente más importante para las características físicas: pericarpio, pico, índice de flotación, peso hectolítrico y peso de cien granos; que contribuyen también significativamente con los caracteres de nixtamalización: pericarpio retenido, color de la tortilla y color de la masa.


En la interacción genotipo x ambiente, ninguna variable de respuesta presentó una contribución significativa.

El coeficiente de variabilidad genética fue alto en los caracteres: índice de flotación, color del grano, pericarpio retenido y pérdida de sólidos; y en la mayoría de ellos la heredabilidad fue alta.

Los valores de correlación significativa fueron bajos, lo que indica que otros factores afectan los caracteres de interés.

## Literatura citada

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. 1976. Approved methods of the AACC. The Association 7th. Edition. St. Paul MN.
- ARÁMBULA-VILLA, G., *et al.*, 2001. Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturas de grano, masa y tortillas de maíz. *Arch. Latinoam. Nutrición*. 51(2): 187-194.
- ARAÚJO, M., *et al.*, 2008. Heredabilidad de la sobrevivencia en 169 familias de maíz-roseta de granos blancos: Un enfoque Bayesiano. *Cien. Inv. Agr.* 35(3): 303-309.
- ARNHOLD, E., *et al.*, 2006. Correlaciones genéticas en familias S4 de maíz (*Zea mays* L.) *Cien. Inv. Agr.* 33(2): 125-131.
- BERGMAN C., D. Gualberto, K. Campbell, M. Sorrels, and P. Finney. 1998. Genotype and environment effects on wheat quality traits in a population derived from a soft by hard cross. *Cereal Chem.* 75: 729-737.
- BILLEB A., S. y R. Bressani. 2001. Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Arch. Latinoam. Nutrición* 51: 81-94.
- EHDAIE B. and J. Wainnes. 1989. Genetic variation, heritability and path analysis in landraces bread wheat from southwestern Iran. *Euphytica*. 41: 183-190.
- ESPITIA-RANGEL, E., P. Beanziger, R. Graybosch, D. Shelton, and B. Moreno-Sevilla. 1999. Agronomic performance and stability of 1A vs 1AL.1RS genotypes derived from the winter wheat «Nekota». *Crop Sci.* 39: 643-648.
- ESPITIA-RANGEL, E., H. Villaseñor-Mir, R. Peña-Bautista, J. Huerta-Espino y A. Limón-Ortega. 2004. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. II. Variabilidad genética y criterios de selección. *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 41-47.
- FIGUEROA C., J., M. Acero G., N. Vasco M., A. Lozano G., M. Flores A. y J. González H. 2001. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Arch. Latinoam. Nutrición* 51: 329-302.
- GONZÁLEZ, R., E. Reguera, L. Mendoza, J. Figueroa, and F. Sánchez. 2004. Physicochemical changes in the hull of corn grains during their alkaline cooking. *J. Agric. Food Chem.* 52: 3831-3837.
- GONZÁLEZ, A. U. 1995. El maíz y su conservación. México. 399 p.
- GOODMAN M and L Brown. 1988. Taces of corn. In: G F Sprague, J W Dudley (eds). Corn and corn Improvement. ASA Monograph 18 ASA, Madison, Wisconsin. pp: 33-79-
- GRAYBOSCH, R., C. Peterson, D. Shelton, and P. Beanziger. 1996. Genotypic an environmental modification of wheat flour protein composition in relation to end-use quality. *Crop Sci.* 36: 296-300.
- GRUMA 2008. Comunicación personal por Luis Rolón, gerente agrícola del departamento de abastecimientos MASECA.
- MINITAB Inc. 2003. MINITAB (User's Guide) Version 14.
- NAVARRO, F., W. Youngquis, y W. Compton. 1992. Estimación de varianzas genéticas en maíz a partir de líneas S1 y S2. *Agronomía Mesoamericana*. 3:9-5.
- NORMA MEXICANA PARA MAÍCES DESTINADOS AL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN. NMX-FF-034-2002-SCFI-PARTE-1. 2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado – especificaciones y métodos de prueba. Especificaciones y Métodos de Prueba. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección General de Normas. México, D. F. 18p.
- PETERSON, J., R. Graybosch, P. Beanziger, and A. Grombacher. 1992. Genotype an environment effects on quality characteristics of hard red winter wheat. *Crop Sci.* 32: 98-103.

- POMERANZ, J., C. Peterson, and P. Mattern. 1985. Hardness of winter wheats grown under widely different climatic conditions. *Cereal Chem.* 62: 463-467.
- ROSA L., A., H. de León C., F. Rincón S. y G. Martínez Z. 2006. Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados a El Bajío mexicano. *Rev. Fitotec. Mex.* 18: 243-254.
- SAHAI, D., I. Surjewan, J. Mua, M. Buendía, M. Rowe and D. Jackson. 2000. Dry matter loss during nixtamalization of a white corn hybrid: Impact of processing parameters. *Cereal Chem.* 77: 254-258.
- SALINAS M. Y., y J. L. Arellano V. 1989. Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Rev. Fitotec. Méx.* 12: 129-135.
- SALINAS M. Y., J. L. Arellano V., y F. Martínez B. 1992. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. *Arch. Lat. Nutrición* 42: 161-167.
- SALINAS-MORENO, Y., *et al.*, 2007. Componentes fenólicos de grano de maíz y su relación con el oscurecimiento de masa y tortilla. *Agrociencia* 41: 295-305.
- SÁNCHEZ, F., Y. Salinas, C. Vázquez, G. Velázquez, y N. Aguilar. 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 57: 295-301.
- SÁNCHEZ, J. y M. Goodman. 1992. Relationships among the Mexican races of maize. *Economic Botany*, 46(1): 72-85.
- SECCIÓN DE FABRICANTES DE ALIMENTOS BALANCEADOS (SFAB) – Canacintra. 2002. La industria alimenticia animal en México (Anuario)
- VÁSQUEZ-CARRILLO, M. G., *et al.*, 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzadas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(4): 231-238. 

Este artículo es citado así:

Salazar-Martínez J., A. Guevara-Escobar, G. Malda-Barrera, C. H. Rivera-Figueroa y Y. Salinas-Moreno. 2009: *Componentes de varianza de caracteres de maíz asociados al nixtamal*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 3(2): 74-83.

## Resúmenes curriculares de autor y coautores

**JOSÉ SALAZAR MARTÍNEZ.** Ingeniero Agrónomo Zootecnista (1985) por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) Campus Monterrey. Realizó su posgrado en Monterrey México, donde obtuvo el grado Maestro en Ciencias con especialidad en Uso y Manejo de los Recursos Agua y Suelo en 1989 otorgado por el ITESM. Actualmente es candidato a Doctor en Ciencias en el área de Recursos Bióticos por la Universidad Autónoma de Querétaro. De 1989 a la fecha a trabajado en Investigación y Desarrollo en diversas empresas del ramo agroindustrial como Vitro, Monsanto y MARS, desarrollando proyectos agrícolas, ganaderos y agroindustriales con enfoque en Sustentabilidad. Su área de especialización es Biotecnología Agroecológica.

**AURELIO GUEVARA ESCOBAR.** Terminó su licenciatura en 1987, año en que le fue otorgado el título de Médico Veterinario Zootecnista por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Realizó su posgrado en Cuba, donde obtuvo el grado de Especialidad en Producción Lechera Tropical en 1990 otorgado por el Ministerio de Agricultura, con mención honorífica el grado de Maestro en Producción Animal en el área de Nutrición por la FMVZ de la UNAM en 1995 y el grado de Doctor en Filosofía en el área de Ciencia Vegetal en 1999 por la Universidad de Massey en Nueva Zelanda. Fue Director del Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Agricultura y Ganadería del Altiplano de la FMVZ de la UNAM de 1992 a 1995. Desde 1999 labora en la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y posee la categoría de Profesor nivel VII. Es líder del Cuerpo Académico Consolidado Biología y Aprovechamiento de la Flora y Microorganismos de la UAQ (2007-2009). Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1999 (candidato 1999-2004; Nivel 1 2006-2009; 2009-2012). Su área de especialización es agroforestería y relaciones hídricas. Ha dirigido 8 tesis de licenciatura, 3 de maestría y 1 de doctorado. Es primer autor en 11 artículos científicos, más de 30 ponencias en congresos, y desde 1999 ha dirigido 6 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos mixtos, sectoriales y del Programa Nacional de Posgrados de Calidad).

**GUADALUPE MALDA BARRERA.** Bióloga egresada de la Universidad Autónoma Metropolitana -Iztapalapa. Estudió el Doctorado en Botánica, en Arizona State University. Actualmente es Profesora-investigadora de la Universidad Autónoma de Querétaro, y su línea de investigación abarca la propagación, análisis de crecimiento y manejo in vitro de especies nativas, incluyendo cultivo in vitro e inoculaciones con micorrizas nativas. Como docente imparte cátedras en relación a la fisiología vegetal y la biología de plantas en zonas áridas, así como el cultivo in vitro y in vivo; tanto a nivel de la Licenciatura en Biología como en el Posgrado en Recursos Bióticos. Es directora de 3 tesis de doctorado, 2 de maestría y 6 de licenciatura. Tiene 10 publicaciones indexadas y 3 capítulos de libros. Ha sido responsable de 12 proyectos de investigación financiados por diferentes instituciones.

**CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA.** Ingeniero Agrónomo por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH-1972). Llevó a cabo estudios de Maestría en Ciencias con especialidad en Genética en el Colegio de Posgraduados de la Escuela Nacional de Agricultura en Chapingo, México, y obtuvo el grado en el año de 1977. También obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Horticultura por la Universidad de Nuevo México, EUA., en 1991, y el Doctorado en Ciencias Biológicas y Estadística por la misma universidad en 1998. Actualmente es jefe del Departamento de Investigación de la Universidad Autónoma de Chihuahua, y catedrático en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la misma institución. Es autor de varios artículos científicos, proyectos, memorias y ponencias en congresos. Sus líneas de investigación se enfocan en: Genética, Fisiología, Nutrición, Estadística y Desarrollo Humano.

**YOLANDA SALINAS MORENO.** Ingeniero Agrónomo por la Universidad Autónoma Chapingo (1985) y estudios de Maestría y Doctorado en Fisiología Vegetal en el Colegio de Posgraduados. Labora en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias desde 1986 a la fecha, actualmente con la categoría de Investigador Titular "C". Ha escrito y publicado cerca de 40 artículos científicos en revistas nacionales e internacionales de reconocido prestigio. Ha dirigido tesis de Licenciatura (22), Maestría (3) y participado como asesor en algunas de Doctorado. Su área de interés es la calidad de los cereales para su aprovechamiento industrial, principalmente maíz, y el estudio de metabolitos secundarios como ácidos fenólicos y flavonoides, así como las actividades biológicas asociadas a estos compuestos. Es miembro del Sistema Nacional de investigadores desde 1992 a la fecha, actualmente con la categoría de Investigador Nacional Nivel II.

# Actitudes sexuales y uso del condón en estudiantes universitarios de Ciudad Juárez, México

## Sexual attitudes and condom use among university students in Ciudad Juarez, Mexico

HUGO S. STAINES<sup>1,5</sup>, MIGUEL A. FRAGA<sup>2</sup>, RUFINO MENCHACA<sup>2</sup>, JUAN SALAZAR<sup>3</sup>,  
ADRIANA C. VARGAS<sup>2</sup>, JESÚS BUCARDO<sup>4</sup> Y CARLOS E. CANO<sup>1</sup>

Recibido: Abril 28, 2009

Aceptado: Julio 11, 2009

### Resumen

**Objetivo:** Describir actitudes, conductas sexuales y prevalencia de uso del condón entre los estudiantes de una universidad mexicana en la frontera de México con Estados Unidos.

**Material y métodos:** Estudio descriptivo con una muestra de 561 estudiantes universitarios quienes dieron su consentimiento informado previo a la aplicación de un cuestionario que se depositó en una urna cerrada y sellada para garantizar confidencialidad. Se realizó análisis univariado para describir las características generales de la muestra y se compararon grupos con respecto a conductas sexuales de riesgo mediante el cálculo de la razón de momios con intervalos de confianza al 95 % y prueba de ji cuadrada de Pearson. El análisis estadístico fue realizado con el programa SPSS versión 15 para Windows.

**Resultados:** El 69.2 % (n=379) refieren antecedentes de actividad sexual coital. En promedio el inicio de la vida sexual para los hombres fue de 16.9 años y de 18.3 años para las mujeres; el 35.9 % no utilizaron condón en su primera relación. El 76.8 % reportaron vida sexual activa en los últimos 6 meses, y solo un tercera parte de ellos (33.9 %) reportó siempre usar condón para relaciones coitales. Una proporción baja (35.3 %) reportó antecedentes de exámenes de detección de ITS, pero la mayoría (90.7 %) estaba dispuesto a practicárselos. A pesar de que la mayoría (92 %) ha recibido información sobre uso de condón y de conductas de riesgo para transmisión de VIH/SIDA e ITS, más de la mitad (55.1 %) mostraron disposición para participar en talleres educativos sobre este tema. En este artículo además se reportan los resultados de otras características, actitudes y conductas sexuales y prevalencia de comportamientos de alto riesgo para contraer VIH/SIDA e ITS de estos estudiantes.

**Conclusiones:** Los universitarios estudiados en esta ciudad fronteriza de México forman un grupo sexualmente activo con riesgo alto para adquirir ITS por sus actitudes y características de comportamiento sexual. Es necesario desarrollar e implementar campañas de promoción de uso del condón y para detección oportuna y tratamiento de ITS en este grupo.

**Palabras clave:** Uso de condón, comportamiento sexual, IVSA, ITS, universitarios, México.

### Abstract

**Objective:** Describe sexual attitudes and behaviors, and prevalence of condom use among students in a Mexican university on the Mexico-United States border

**Material and methods:** A descriptive study with a sample of 561 university students who gave informed consent prior to the application of a questionnaire that they deposited in a closed and sealed box to guarantee confidentiality. Univariable analysis was done to describe general characteristics of the sample, and risk sexual behaviors were compared between groups using odds ratio with confidence intervals and Pearson's chi square test. The statistical analysis was performed with SPSS version 15 for Windows.

**Results:** 69.2 % (n=379) reported history of prior sexual activity. The mean age for start of sexual activity was 16.9 years for men and 18.3 years for women; 35.9 % (n=136) did not use a condom for their first life-time sexual relation. 76.8 % (n=289) had an active sex life in the past six-months, with only a third of them (n=98) reporting to always use a condom for sexual relations. A low proportion (35.3 %) reported ever having had a laboratory test to detect an STD, but most (90.7 %) stated that they would be willing to undergo a test. Although most (92 %) had received information about condom use and high-risk behaviors for HIV/AIDS and STD transmission in the past, more than half (55.1 %) showed interest to participate in educational workshops. Other results about characteristics and attitudes of sexual behaviors and prevalence of high-risk behaviors for contracting HIV/AIDS and STD's of these students are discussed in this report. **Conclusions:** The University students studied in this Mexican border city represent a sexually active group at high risk for contracting HIV/AIDS or STDs given their attitudes and characteristics of sexual behaviors. It is necessary to develop and implement condom promotion campaigns and early detection and treatment of HIV/AIDS and STDs in this group.

**Keywords:** Condom use, sexual behavior, STD's, sexually active, university students, Mexico.

<sup>1</sup> Profesor e investigador del Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua

<sup>2</sup> Profesor e investigador de la Facultad de Medicina y Psicología, Universidad Autónoma de Baja California

<sup>3</sup> Profesor e investigador de la Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Tamaulipas

<sup>4</sup> Investigador de la Universidad de California, San Diego

<sup>5</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: hstaines@uacj.mx



## Introducción

**E**n la actualidad, tanto el hombre como la mujer tienen derecho a ser individuos sexuados, ya sea en su soltería o en el matrimonio, por el simple hecho de ser seres humanos (Sigusch, 1998). Esta consideración moderna se refleja en el número cada día más creciente de madres y padres solteros, con una aceptación más flexible por la sociedad; preocupando el hecho de que el significado original tanto social como emocional de la familia, se ha reducido de manera considerable, incidiendo no sólo en el aspecto reproductivo sino también en el incremento de las enfermedades de transmisión sexual (ETS).

Inmersa en este complejo contexto social, se encuentra la población mundial joven. Estudios en países de occidente revelan que un gran número de adolescentes tienen encuentros sexuales a una edad más temprana que en generaciones previas. Al mismo tiempo, se observa un incremento en el número de adolescentes con embarazos no deseados y de enfermedades transmitidas sexualmente que están relacionadas a conductas sexuales de riesgo, entre las que se incluye el virus de inmunodeficiencia humana (VIH), problema en aumento progresivo especialmente entre la población joven (Nemcic *et al.*, 2005).

Un grupo de la población que debe ser estudiado por sus características cualitativas es el de estudiantes universitarios. Estudios realizados en este grupo en países como China reportan que el 10 % de las mujeres encuestadas y parejas mujeres de los encuestados ha tenido la experiencia de embarazo o de aborto inducido, y el 1.5 % en general, refiere haber padecido alguna ETS (Ma *et al.*, 2006). En México, se entrevistaron a 549 estudiantes de primer año de medicina y 19 de ellas (3.5 %) refirieron antecedente de embarazo, de las cuales diez (52 %) lo terminaron en aborto inducido ilegal, con los riesgos que este tipo de procedimientos trae consigo (Ortiz-Ortega *et al.*, 2003).

La práctica sexual de los estudiantes universitarios los pone en un alto riesgo para adquirir VIH y Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA). Estas prácticas incluyen múltiples parejas sexuales, sexo oral y anal sin protección, además de uso inconstante del

condón, entre otras (Lollis *et al.*, 1997; Poulson *et al.*, 1998; Gagnon y Godin, 2000; Lewis *et al.*, 2000). Sin embargo, a pesar de que los estudiantes universitarios conocen la gravedad del VIH y el SIDA, así como sus formas de contagio y de prevención, continúan la práctica del sexo sin protección (Prince y Bernard, 1998; Wendt y Solomon, 1995).

Otros comportamientos sexuales de alto riesgo son: la práctica del sexo casual, incapacidad para hablar con la pareja sobre el sexo seguro y el tener relaciones sexuales bajo la influencia del alcohol o drogas. Se ha reportado que es común que exista un incremento en el consumo de alcohol entre los estudiantes al ingresar a la universidad (Mora-Ríos y Natera, 2001). La influencia del alcohol disminuye la inhibición y hace que los individuos se involucren en sexo no planeado e inseguro. Poulin y Graham (2001) refieren en su estudio que las relaciones sexuales no planeadas bajo la influencia del alcohol u otro tipo de droga son un factor de riesgo independiente para múltiples parejas sexuales y uso inconsistente de condón. Los estudiantes universitarios frecuentemente combinan las relaciones sexuales con el alcohol (Poulson *et al.*, 1998; Prince y Bernard, 1998; Tyden *et al.*, 1996). En un estudio realizado en universitarios ecuatorianos por Piedra *et al.* (2005), se reportó que el 55 % de los encuestados refirió haber consumido alcohol antes de su actividad coital, lo que los expuso a sexo riesgoso, y solamente el 16 % de los hombres reportó haber usado condón bajo esa circunstancia. El mismo equipo de investigadoras realizó un estudio parecido en Brasil, reportando que el

10 % de 200 universitarios encuestados refirió haber consumido alcohol o alguna otra droga antes de su relación coital y el 33 % usó condón (Pillon *et al.*, 2005). Por el contrario, bajos niveles en el uso de alcohol fueron asociados con alta frecuencia en el uso del condón (McNair *et al.*, 1998).

Las características socio demográficas de los jóvenes universitarios deben tomarse en cuenta antes de generalizar los resultados a la población abierta (Visser *et al.*, 2005), y se les debe considerar como un grupo particular de riesgo para ETS y embarazos no deseados.

Se han referido conductas de riesgo entre los 15 y 25 años como son: el inicio temprano de su vida sexual bajo una ilusión de aparente control y dominio de su realidad, la falta de concordancia entre la maduración biofisiológica y psicosocial, la búsqueda de una identidad, la influencia del grupo, la presencia de temores y confusión, el contraste y enfrentamiento a las normas y valores establecidos, así como su escasa previsión del futuro (Sueiro *et al.*, 1998).

En cuanto al inicio de la vida sexual activa (IVSA), la mayoría de los estudios, en diferentes contextos socio culturales, coinciden en señalar la edad promedio para inicio de vida sexual activa de 15 años para el hombre y 16 para las mujeres (Mogilevkina *et al.*, 2001; Upchurch *et al.*, 1998; Manzini, 2001; Leitenberg y Saltzman, 2000; Biro *et al.*, 2001; Micher y Silva, 1997). Es importante considerar la falta de uso del condón en la primera relación sexual, ya sea como método anticonceptivo o para prevenir enfermedades por contacto sexual; los reportes de esta relación insegura varían entre el 25 y el 65 %, de acuerdo a donde se realizó el estudio y al grupo etario citado (Mogilevkina *et al.*, 2001; Micher y Silva, 1997; Abma y Sonenstein, 2001; Manning *et al.*, 2000). El límite superior de este rango corresponde a un estudio entre estudiantes universitarios mexicanos realizado por Micher y Silva (1997). Los

hombres reportan con más frecuencia el uso de condón como protección en su primera relación sexual que las mujeres (Sneed *et al.*, 2001; Eggleston, 1998).

El porcentaje de la población estudiantil sexualmente activa es muy variable, dependiendo del país y el lugar donde se realiza la encuesta, oscilando dentro de un rango del 22 al 89 % (Ortiz-Ortega *et al.*, 2003; Poulson *et al.*, 1998; Gagnon y Godin, 2000; Lewis *et al.*, 2000; Piedra *et al.*, 2005). En el grupo con actividad sexual, es de gran interés conocer las actitudes de los estudiantes universitarios en cuanto al uso del condón y todos los factores que lo rodean, ya que la efectividad del mismo está demostrada como método de barrera física, si se utiliza de manera apropiada, en la prevención del VIH y otras enfermedades de transmisión sexual (Benagiano *et al.*, 2000; Brawley *et al.*, 2001). Sin embargo, se debe dar a conocer que el condón no protege al 100 % debido sobre todo a la mala técnica en su uso, que puede conducir a su ruptura o a su deslizamiento. Además la errónea percepción del condón como un incómodo inhibidor del placer sexual, hace que los varones opten por evitar su uso, reduciendo su riesgo de contagio al involucrarse solamente en relaciones monogámicas; en cambio aquellos quienes poseen actitudes positivas respecto al condón como recurso de protección, lo utilizan en sus relaciones con múltiples parejas al sentirse más seguros ante el riesgo de contagio. Las mujeres en cambio, se preocupan más por convencer a sus parejas a utilizar el condón, y menos por la disminución del placer sexual al utilizarlo (Lollis *et al.*, 1997; Weinberg *et al.*, 1998; Albarracin *et al.*, 2000).

Al contrastar el uso del condón en ambos sexos, se ha reportado que las mujeres refieren menos su uso que los hombres (Wendt y Solomon, 1995; Sallah *et al.*, 1999). El gran número de diferencias cualitativas entre los grupos de universitarios estudiados da como resultado unos rangos muy amplios en cuanto a la frecuencia y consistencia del

uso del condón. Así, múltiples estudios reportan el uso consistente del condón en el rango del 10-79 % de los encuestados en sus respectivas muestras, de manera inconsistente entre el 58-60 % y refirieron nunca utilizar condón entre el 9.6 y el 66 % de la población estudiada (Poulson *et al.*, 1998; Gagnon y Godin, 2000; Prince y Bernard, 1998; Wendt y Solomon, 1995; Weinberg *et al.*, 1998; Beckman *et al.*, 1996; Critelli y Suire, 1998; Peltzer, 2000; Civic, 2000; Diiorio *et al.*, 2000). Ante la pregunta para conocer el motivo por el cual los estudiantes no utilizan el condón, los principales factores reportados o barreras son: el estar involucrados en relaciones monógamas, falta de experiencia o fracaso al intento de utilizar los condones, vergüenza al comprar y utilizar condones, el tener relaciones sexuales bajo la influencia del alcohol o de alguna droga, no querer ofender a la pareja, creer que el condón va a disminuir el placer sexual, ser espontáneo y no arruinar el momento, pérdida de la erección al colocar el condón, falta de disponibilidad cuando se necesita, miedo al rechazo, incapacidad de hablar con confianza, tener miedo de lo que podría pensar la pareja de su historial sexual si se insiste en utilizar condón, influencia familiar, de los amigos o la religión en cuanto al uso del condón, porque interfiere con la «naturalidad» del acto sexual, el uso de otras formas de anticonceptivos, conocimiento de la historia sexual de la pareja, lo que le da más confianza, o bien, desconocimiento o pobre percepción de los riesgos para contraer el VIH (Lollis *et al.*, 1997; Prince y Bernard, 1998; Wendt y Solomon, 1995; Tyden *et al.*, 1996; Benagiano *et al.*, 2000; Critelli y Suire, 1998; Cohen *et al.*, 1999).

Por lo anterior, se puede concluir que los estudiantes universitarios integran un grupo de alto riesgo. Si se considera la edad promedio de inicio en la vida sexual activa (16 años) y el estilo propio de vivir a nivel universitario, se puede considerar que la mayoría de los estudiantes son sexualmente activos o inactivos, pero ya con al menos una

experiencia en su historial personal en cuanto a su sexualidad, la cual reporta cifras muy variadas en cuanto a la frecuencia del uso del condón como método de barrera, ya sea contra ETS o para evitar embarazos no planeados.

Ante la necesidad de información actualizada y ubicada al propio entorno, se ha realizado un estudio exploratorio descriptivo multicéntrico sobre actitudes en cuanto al uso de condón en estudiantes universitarios de la frontera norte de México, el cual abarca las ciudades de Tijuana, Ciudad Juárez y Matamoros, en sus respectivas universidades oficiales. El objetivo de este trabajo es describir los resultados encontrados en los estudiantes encuestados de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, con la finalidad de contar con la información correspondiente para poder planear y programar actividades de promoción de sexo más seguro entre aquellos que, en su momento, ya como egresados, serán multiplicadores de dicha acción en su campo laboral, ya que por su calidad de profesionales de la localidad, se convertirán en líderes naturales de opinión en sus propias comunidades.

## Materiales y métodos

El presente es un estudio transversal descriptivo que se realizó en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), institución pública de educación superior que cuenta con 19,300 alumnos inscritos en carreras profesionales, y de los cuales fueron seleccionados 561 por accesibilidad y conveniencia para responder a un cuestionario de 21 preguntas; del total de encuestados, fueron eliminados 13 sujetos por haber contestado el instrumento de manera incompleta, por lo que el tamaño final de la muestra fue de 548 individuos.

El instrumento fue validado y aplicado previamente en la ciudad de Tijuana, Universidad Autónoma de Baja California (UABC) (Fraga *et al.*, 2008), la primera de tres sedes a encuestar como parte del estudio multicéntrico citado y al cual pertenece el

presente reporte, evaluado como una investigación sin riesgo y aprobada por los comités de bioética de la UABC y la UACJ. Se capacitó a los encuestadores en la técnica y requisitos del reclutamiento y vigilancia de las condiciones del entorno, forma de recabar los cuestionarios y en el cuidado de la privacidad de los encuestados.

El procedimiento en campo consistió en solicitar la participación voluntaria de los estudiantes, explicando el motivo del estudio y manejo posterior de la información recabada. Dicho reclutamiento se realizó en diversas áreas de concentración de alumnos (sala de cómputo, aulas desocupadas, pasillos principales, áreas de descanso, etc.); a quienes aceptaron participar, se le entregó el cuestionario y un lápiz, dejándolos solos para que lo contestaran. El cuestionario incluyó en forma explícita al inicio del mismo, el consentimiento por parte del encuestado para participar en el estudio y uso de la información; al aceptar, continuó con el cuestionario, y en caso de rechazo, lo entregó sin contestar al encuestador el cual siempre se mantuvo a una distancia prudente, para acudir en caso de que el encuestado lo solicitara; en estos casos, después de aclaradas las dudas, el encuestador se retiró a la distancia que requiriera el voluntario para respetar la privacidad de su participación. Al terminar, el encuestado depositó personalmente su cuestionario, doblado en cuatro partes, en una urna cerrada y sellada, con lo que se percató de la confiabilidad y respeto a su privacidad. Al término de cada día, se abrieron las urnas y se concentraron en forma administrativa los cuestionarios para calificar su inclusión.

Se codificaron los cuestionarios para ser capturados en la base de datos SPSS ver. 15 para su análisis estadístico, el cual se realizó utilizando medidas de tendencia central y dispersión para el análisis univariado. Se contrastaron las medias entre grupos mediante t de Student, y se utilizó prueba U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis para

comparar grupos cuando los resultados no siguieron una curva de distribución normal. Para el análisis de variables categóricas se estableció asociación mediante razón de momios, calculándose intervalos de confianza al 95 % y prueba ji-cuadrada de Pearson a dos colas para significancia estadística. Se realizó regresión logística para estimar predictores para variables dependientes categóricas, estableciéndose una significancia estadística con  $p < 0.05$ . Se utilizó el programa estadístico SPSS versión 15 para Windows.

## Resultados

Participaron 548 estudiantes, procedentes de las distintas escuelas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, siendo las carreras más representadas las de Medicina, Administración de Empresas, Diseño Gráfico, Ingeniería Industrial, y Odontología, con más de la mitad de los participantes (53.6 %). El resto de la muestra procedió de las otras veintinueve carreras. En cuanto a distribución por sexo, participaron 293 mujeres y 255 hombres. La edad promedio de los estudiantes que participaron fue de 21.5 ( $\pm 3.9$ ). El estado civil correspondió en su mayoría a estudiantes solteros, seguido por los casados y en menor proporción los que se encontraron en unión consensual o divorciados. En el Cuadro 1 se presentan estas características generales de los estudiantes encuestados.

La mayoría de los estudiantes reportaron haber tenido ya relaciones sexuales ( $n=379$ , 69.2 %). El inicio de las relaciones sexuales ocurrió a una edad promedio de 17.6 años ( $\pm 2.3$ ) con rangos reportados entre los 7 y los 26 años de edad. No existió asociación entre la preparatoria de procedencia o la carrera universitaria con el haber iniciado relaciones sexuales, sin embargo, el sexo masculino sí se asoció significativamente al inicio de vida sexual, mostrando los hombres una mayor proporción de sujetos que ya habían iniciado relaciones sexuales. En el Cuadro 2 se presentan estos resultados.



**Cuadro 1.** Características generales de los estudiantes encuestados (n=548)

Variable		
Edad	Media (D.E)	21.5 (3.9)
	Rango	17 a 59 años
Sexo	Hombres	255 (46.5 %)
	Mujeres	293 (53.5 %)
Facultad de procedencia	Medicina	90 (16.4 %)
	Administración de Empresas	68 (12.4 %)
	Diseño Gráfico	52 (9.5 %)
	Ingeniería Industrial	51 (9.3 %)
	Odontología	33 (6 %)
	Otras	254 (46.4 %)
Estado civil	Soltero	480 (87.6 %)
	Casado	49 (8.9 %)
	Unión consensual	11 (2 %)
	Divorciado	8 (1.5 %)
Escuela preparatoria	Pública	451 (82.3 %)
	Privada	97 (17.7 %)
Relaciones sexuales	Si	379 (69.2 %)
	No	169 (30.8 %)

**Cuadro 2.** Inicio de relaciones sexuales entre estudiantes universitarios de acuerdo a sexo.

		IVSA	NO IVSA	R.M.	I.C. 95%	p
Sexo	Mujeres	179	114	1	Gpo ref	
	Hombres	200	55	2.3	1.6 - 3.4	<0.001
Preparatoria	Pública	306	145	1	Gpo ref	
	Privada	73	24	0.7	0.4 - 1.1	N.S.
Carrera	Area salud	104	151	1	Gpo ref.	
	Otra	275	118	1.14	0.7 - 1.7	N.S.

Nota: IVSA, inicio de vida sexual activa; No IVSA, no inicio de vida sexual activa; R.M. razón de momios; I.C. 95%, intervalo de confianza al 95%; p, valor de p; Gpo ref, grupo de referencia; N.S., no significativo.

También se observó una edad de inicio de la actividad sexual más temprana en hombres que en mujeres, con una media de 16.9 ( $\pm$  2.2) para los hombres, y una media de 18.3 ( $\pm$  2.1) para mujeres, lo que refleja una diferencia estadísticamente significativa con una  $p < 0.001$ .

Con respecto a conductas de riesgo en su primera relación sexual, se identificó principalmente el no haber usado condón y el encontrarse bajo los efectos del alcohol o

**Cuadro 3.** Características generales asociadas al uso o no uso de condón en primera relación sexual en estudiantes universitarios (n=397).

		No uso de condón	Uso de condón	R.M.	I.C. 95%	p
Sexo	Mujeres	51	128	1	Gpo. ref.	
	Hombres	85	115	1.8	1.2 - 2.8	0.005
Preparatoria	Pública	114	192	1	Gpo. ref.	
	Privada	22	51	1.3	0.7 - 2.3	N.S.
Carrera	Área salud	27	77	1	Gpo ref.	
	Otra	109	166	1.8	1.1 - 3.0	0.013
Uso de alcohol	No	122	229	1	Gpo. ref.	
	Si	14	14	1.8	0.9 - 4.0	N.S.
Uso de drogas	No	131	242			
	Si	5	1	Insuf.		
Edad primera relación	Media(D.E.)	17.4(2.8)	17.8(1.9)	-	-	N.S.
	Rango	7 - 26	12 - 16			

Nota: R.M. razón de momios; I.C. 95%, intervalo de confianza al 95%; p, valor de p; Gpo ref, grupo de referencia; N.S., no significativo; Insuf, muestra insuficiente para análisis.

drogas. Un 35.9 % (n=136) de los sujetos sexualmente activos mencionó no haber usado condón en su primera relación sexual. Los principales factores asociados con no haber usado condón fueron el sexo masculino y el pertenecer a una carrera ajena a las áreas de salud. No se observó asociación con la edad en la que ocurrió la primera relación sexual, con la preparatoria de procedencia, o con el uso de alcohol. El contraste con el uso de drogas en primera relación sexual y el no uso de condón no pudo llevarse a cabo debido al pequeño número de sujetos que reportaron haber usado drogas (n=6). En el Cuadro 3 se presentan estos resultados. La asociación observada se mantuvo en el análisis logístico multivariado.

La principal razón que se ofreció para no haber usado condón en esta primera relación sexual entre quienes señalaron una causa específica fue la no disponibilidad del mismo (n=42, 7.7 %) y la confianza en la pareja (n=10, 1.8 %). En 77 sujetos (14.1 %) la causa fue considerada como ajena a las respuesta que se les presentaron (otra causa).

Veintiocho sujetos señalaron haber tenido su primera relación sexual bajo la influencia del alcohol y seis sujetos señalaron haber estado expuestos a alguna droga. La exposición a alcohol y drogas en su primera relación sexual se observó principalmente en hombres, los expuestos al alcohol en su primera relación sexual fueron 20 hombres y 8 mujeres (p=0.030), y con uso de drogas se observaron seis expuestos, todos ellos hombres (p=0.02).

El número de parejas sexuales señalado fue de 1 a 22 en los 379 sujetos que afirmaron haber tenido ya relaciones sexuales. Entre hombres y mujeres se observó una diferencia en el número de parejas sexuales, con una mediana de 3 para hombres (rango de 1 a 22) y en mujeres una mediana de 2 (rango 1 a 15). Lo anterior representó una diferencia significativa con un valor de  $p < 0.001$ .

El número de parejas sexuales casuales que se reportaron en estos 379 sujetos estuvo

comprendido entre 0 y 20 (mediana 0, rango intercuartílico de 1 a 3). Para hombres se reportó una mediana de 1 (rango de 0 a 20) y para mujeres una mediana de 0 (rango de 0 a 5). Esta diferencia entre hombres y mujeres en cuanto al número de parejas sexuales casuales fue estadísticamente significativa con una  $p < 0.001$ .

De los 379 sujetos que reportaron haber tenido ya relaciones sexuales, el 76.3 % (n=289) se encontraba sexualmente activo al momento del estudio. Doscientos veintidós (76.8 %) afirmaron usar condón regularmente. En ellos se observaron los siguientes patrones de uso: siempre lo usa, 33.9 % (n=98); la mayoría de las veces, 23.9 % (n=69); algunas veces, 19 % (n=55); nunca, 23.2 % (n=67).

Entre los motivos referidos por los cuales no se utiliza condón en los 289 sujetos sexualmente activos, el más frecuente fue: por usar otro método de planificación familiar (51.6 %), seguido por la afirmación de confianza en su pareja (38.8 %), por falta de disponibilidad (31 %), porque no les gusta (19 %), porque mencionan que disminuye la sensibilidad (11.6 %), porque reconocen no saber utilizarlo (3.7 %). Solamente el 2.7 % reportó el no uso de preservativo por haber estado bajo el influjo de alcohol o drogas, y el 1.1 % porque su religión se lo prohíbe. De estos 289 alumnos sexualmente activos, ante la pregunta de qué hacen si su pareja no desea utilizar condón, solamente el 20.1 % señaló que rechaza esta relación de riesgo. De los 207 que reportaron practicar sexo oral, el 86.93 % no se protege y de los 68 que practican sexo anal, solamente el 51.4 % utiliza condón.

Del total de la muestra, refieren haber recibido información sobre uso del condón 509 (92.9 %) de los cuales el 68.6 % la califican como suficiente, 27.9 % regular y el 3.5 % como insuficiente. Las fuentes de información fueron principalmente la escuela (47.1 %), promotores de salud (20.6 %) y la familia (14.1 %),

seguidos de publicidad gráfica y audiovisual, amigos y la iglesia. Pese a que solamente el 35.4 % refirió haberse practicado algún estudio de laboratorio para detección de enfermedades de transmisión sexual, el 90.7 % de los encuestados está dispuesto a practicárselo si se le ofrece en campañas o en caso necesario ante la exposición a un riesgo, y el 55.1 % en participar en talleres y programas educativos para el uso adecuado del condón.

## Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio son consistentes con algunos reportes de investigaciones previas en otras comunidades estudiantiles universitarias, y como es de esperarse, también se incluyen diferencias sobre todo por las características socioculturales de cada grupo en estudio. Así, en lo referente al número de alumnos que refieren vida sexual activa, se observa que en Ciudad Juárez (UACJ) es del 69.2 %, lo que se encuentra dentro del rango referido para otros estudios (22-89 %) tendiendo más hacia el límite superior.

El IVSA a los 16 años en los hombres y 18 entre las mujeres fue más tarde comparado a lo reportado para la población general, que es de 15 y 16 años respectivamente. Esta primera relación, bajo el influjo del alcohol, se refiere en un 5.1 %, cifra muy por debajo de lo reportado por Piedra *et al.* (2005) entre estudiantes ecuatorianos (55 %) y brasileños (10 %); aún cuando el porcentaje es bajo (1.1 %) el antecedente de IVSA bajo el efecto de otro tipo de droga diferente al alcohol estuvo presente; sin embargo y en contraste con Poulin *et al.* (2001), ni la edad de inicio o el uso de alcohol o drogas resultaron predictores significativos en la muestra para observar la relación sexual de riesgo, la cual fue reportada en el 35.9 % de los universitarios encuestados, cifra que se encuentra dentro del rango de los reportes referidos (25-65 %) entre los cuales se citan el de Micher *et al.* (1997) y que corresponde al límite superior, realizado en

estudiantes mexicanos con un resultado por encima de lo encontrado en el presente estudio.

Cabe mencionar que los hombres refirieron mayor consumo de alcohol y drogas cuando tuvieron su primera relación sexual, lo que puede responder a factores culturales que influyen en el desarrollo de estos hábitos, sobre todo como antecedente para la toma de decisiones importantes en su vida temprana. Así mismo, fueron menos los hombres en relación a las mujeres quienes refirieron haber utilizado condón en su IVSA, lo que no es consistente con los reportes de Sneed *et al.* (2001) y de Eggleston (1998) quienes reportaron dicho antecedente con mayor frecuencia entre sus estudiantes hombres entrevistados. Es importante señalar que los motivos referidos por los cuales no usaron condón en su IVSA fueron principalmente la no disponibilidad del mismo y el tenerle confianza a su pareja, además de otras causas en menor frecuencia; dichos motivos se encuentran dentro de la lista de barreras o justificaciones citadas en los antecedentes del presente trabajo.

Al considerar como vida sexual activa el haber tenido relaciones coitales dentro de los últimos seis meses a la fecha de la aplicación de la encuesta, los 289 estudiantes que contestaron afirmativamente a esta pregunta corresponden a un 76.3 % de los 379 que ya tienen el antecedente de vida sexual (activa o inactiva) y al 52.7 % del total de la muestra. De los que actualmente son activos sexualmente, usan condón en forma constante solamente el 33.9 %, lo que es consistente con lo reportado por Poulson *et al.* (1998), Peltzer (2000) y Civic (2000), quienes citan dentro de un rango del 27-35 % de uso constante del condón en sus poblaciones estudiadas; sin embargo, está por debajo del 79 % citado por Gagnon *et al.* (2000) y por encima del 13 % referido por Weinberg *et al.* (1998) y del estudio de Prince *et al.* (1998) quienes refieren el uso constante solamente en un 10 % de su población sexualmente activos.

El 23.2 % de los estudiantes sexualmente activos que contestó nunca utilizar condón, está por encima del 9.6 % reportado por Diorio *et al.* (2000) y del 13 % correspondiente al estudio de Poulson *et al.* (1998); a la vez, se encuentra por debajo de lo reportado por Weinberg *et al.* (1998) quienes encontraron esta respuesta en el 66 % de su muestra, así como del estudio realizado por Peltzer (2000) que lo reporta en un 29.2 % de su muestra. La mayoría de los que reportaron no utilizar condón mencionaron que la causa principal fue el utilizar otro método de planificación familiar, lo que corrobora el hecho mencionado en los antecedentes de que a los estudiantes les preocupa más un embarazo no planeado que una ETS; la segunda causa para su no uso, es de nuevo la confianza en su pareja y en tercer lugar la no disponibilidad de los condones al momento de necesitarlos.

Una situación preocupante es el hecho reportado por los entrevistados de que, en caso de que su pareja no quiera utilizar condón solamente el 20.1 % tomaba la actitud de rechazar dicha relación de riesgo, lo que representa un porcentaje muy alto de inadecuada acción razonada de autoprotección ante este riesgo. También es muy alto el número de entrevistados que no se protegen al practicar sexo oral (86.9 %) o anal (51.4 %) en caso de practicarlo.

En cuanto a información relacionada al uso del condón, la mayoría (92.9 %) refiere haberla recibido, siendo calificada como suficiente en el 68.6 % de la misma, reportando como fuentes principalmente la escuela, seguido de los promotores de salud y la familia; aún así, los promotores son referidos solamente como un 20.6 % del total de fuentes de información, lo que se puede calificar como muy bajo en relación a las expectativas de los programas específicos ya establecidos. La información recabada de manera indirecta a través de materiales gráficos solamente, fue reportada por debajo del 14 %.

Se observa un gran interés, más del 90 % de los encuestados, por realizarse exámenes de laboratorio para detección oportuna de ETS en caso de que se les pongan a disposición, ya que sólo poco más de la tercera parte reportan haberse realizado alguno de ellos con anterioridad. Sin embargo, solamente el 55 % menciona estar dispuesto a participar en talleres y programas educativos referentes al uso adecuado del condón, hallazgo que deberá estudiarse más a fondo para conocer los motivos de la falta de disposición de casi la mitad de los encuestados y poder así diseñar estrategias para captar su interés.

## Conclusiones

En general, los resultados demuestran que los estudiantes universitarios estudiados forman parte de un grupo de alto riesgo para contraer enfermedades de transmisión sexual, como también lo citan los estudios referidos y que en su mayoría presentan los factores de riesgo necesarios para adquirir una enfermedad de transmisión sexual por no usar el condón en forma consistente o por el mal uso del mismo, sin dejar de lado la influencia sociocultural en sus actitudes. Se debe medir el nivel de conocimiento en cuanto al uso adecuado del condón ya que, como en la mayoría de las publicaciones citadas, se mencionan los porcentajes de uso, pero no se determina si lo hacen en forma correcta o no; esto es de gran importancia ya que, de ser así, el joven puede estar utilizando mal el condón y estar confiado en que lo hace de manera correcta, cuando tal vez se encuentre dentro del grupo de alto riesgo, al no cumplir con la técnica adecuada.

Se puede observar que la edad de IVSA es más tarde en comparación a los reportes citados, sobre todo entre la población general y se puede deducir que en promedio, coinciden con el último año de educación media superior para los hombres y el primer año de universidad para las mujeres; lo que es de gran importancia para considerarla en la planeación de programas de educación sexual en este grupo de la población.



El mismo equipo de autores del presente trabajo reportó resultados muy parecidos entre estudiantes universitarios de Tijuana, Baja California (Fraga *et al.*, 2008). Aún cuando ni el consumo de alcohol o de otro tipo de drogas resultaron ser predictores significativos en la muestra para observar la relación sexual de riesgo, se requiere educación conductual pertinente, oportuna y realista desde etapas tempranas de la juventud para evitar, en lo posible, la combinación de alcohol y sexo, que pueden llevar hacia un IVSA de riesgo sin la utilización adecuada del condón.

Es evidente que los jóvenes se preocupan más por evitar un embarazo no deseado que por evitar infecciones de transmisión sexual, ya que en cuanto utilizan un método anticonceptivo diferente al condón, dejan de utilizar éste, pese al riesgo de contagio de alguna enfermedad. También queda claro que entre la población estudiada, la relación «romántica» es de gran peso e influencia sobre todo entre las mujeres, que lleva a aceptar relaciones sin condón por confianza extrema en su pareja o temor a molestarla, lo que demuestra falta de comunicación entre ambos.


Aun cuando existen limitantes en el presente estudio, como lo es el muestreo por conveniencia y accesibilidad, las recomendaciones que emergen son aplicativas y objetivas a los resultados mencionados, quedando clara la necesidad de implementar talleres de desarrollo de habilidades y de capacitación para el uso adecuado del condón, dirigido a toda la población universitaria, buscando y probando técnicas y materiales que hagan más atractiva la participación en dichos talleres, de manera activa y adecuada a su entorno sociocultural. Por otro lado, y para evitar la barrera de la no disponibilidad, se deben estructurar programas de distribución de condones, atendiendo a las recomendaciones de los estudiantes en cuanto a la manera más adecuada para hacerlo. Todas las campañas de promoción del uso del condón deben ser abiertas y objetivas, segmentando la población vulnerable de acuerdo a sus características

particulares, para así centrarse en la comunidad específica, en su lenguaje y canales de comunicación, para que los jóvenes tengan acceso a ellas en forma directa y con plena confianza de ser atendidos de manera eficiente, realista y congruente con la etapa en la que se desarrollan al momento de la intervención conductual, que buscará sobre todo el fomento de una cultura de responsabilidad y autocuidado de la salud sexual.

Por último, cabe mencionar que en el futuro próximo, todo alumno universitario será multiplicador en su comunidad, de valores, actitudes y principios, entre los que se encuentra el respeto a su salud y con ella a su sexualidad, promoviendo prácticas responsables y seguras, tanto en el aspecto de planificación familiar como en la prevención de enfermedades de transmisión sexual, y para ello, deberá capacitarse en esta etapa formativa tan importante de su vida, como futuro profesional en su área disciplinaria, pero también como un ser humano consciente de su realidad y comprometido con el bienestar integral de su comunidad.

## Literatura citada

- ABMA J. C., F. L. Sonenstein. Sexual activity and contraceptive practices among teenagers in the United States, 1998 and 1995. *Vital Health Stat* 23 2001 Apr;(21):1-79.
- ALBARRACIN D., P. McNatt, W. Williams, T. Hoxworth, J. Zenilman, R. Ho, F. Rhodes, K. Malotte, G. Bolan, M. Latesta. Structure of outcome beliefs in condom use. *Health Psychology*. 2000; 19 (5): 458-466.
- BECKMAN L., M. Harvey, L. Tiersky. Attitudes about condom and condom use among college students. *College Health*. 1996. 44:243-249.
- BENAGIANO G., G. Rezza, S. Vella. Condom use for preventing the spread of HIV-AIDS: an ethical imperative. *Journal of the Royal Society of Medicine*. 2000. 93: 453-456.
- BIRO F., S. Rosenthal, S. Cotton, L. Mills, P. Succop. Predicting age of sexual debut in adolescent girls. *J Pediatr Adolesc Gynecol* 2001 Aug;14(3):145.
- BRAWLEY S., M. B. Adam, C. Heilman. NIH condom review sends message that prevention efforts need fine tuning. *Aids Alert* 2001 Sep;16(9):109-10.
- CIVIC D. College students' reasons for nonuse of condoms within dating relationships. *J Sex Marital Ther* 2000 Jan-Mar; 26(1):95-105.
- COHEN D., R. Scribner, R. Bedino, A. T. Farley. Cost as a barrier to condom use: the evidence of condom subsidies in the United States. *American Journal of Public Health*. 1999. 89 (4): 567-568.

- CRITELLI J. W., D. M. Suire. Obstacles to condom use : the combination of other forms of birth control and short term monogamy. *J Am Coll Health*. 1998 Mar;46(5): 215-219.
- DIORIO C., W. N. Dudley, S. Lehr, J. E. Soet. Correlates of safer sex communication among college students. *J Adv Nurs* 2000 Sep;32(3):658-65.
- EGGLESTON E. Use of family planning at first sexual intercourse among young adults in Ecuador. *J Biosoc Sci* 1998 Oct;30(4):501-10
- FRAGA M. A., W. Dávila, A. C. Vargas-Ojeda, J. Bucardo, T. L. Patterson, H. S. Staines. Uso del condón en estudiantes universitarios de Tijuana. *Expresiones Médicas*. 2008. 4(3): 95-104.
- GAGNON M., G. Godin. The impact of new antiretroviral treatment on college students intention to use a condom with a new sexual partner. *AIDS Education and Prevention*. 2000. 12 (3): 239-251.
- LEITENBERG H., H. Saltzman. A statewide survey of age at first intercourse for adolescent female and age of their male partners: relation to other risk behaviors and statutory rape implications. *Arch Sex Behav* 2000 Jun;29(3):203-15.
- LEWIS L., R. Melton, P. Succop, S. Rosenthal. Factors influencing condom use and STD acquisition among African American college woman. *College Health*. 2000. 49: 19-23.
- LOLLIS C., E. Johnson, M. Antoni. The efficacy of the health belief model for predicting condom usage and risky sexual practices in university students. *AIDS Education and Prevention*. 1997. 9 (6): 551-563.
- MA Q., M. Ono-Kihara, L. Cong, G. Xu, S. Zamani, S.M. Ravari, M. Kihara. Sexual behavior and awareness of chinese university students in transition with implied risk of sexually transmitted diseases and HIV infection: A cross-sectional study. *BMC Public Health* 2006;6:232-243.
- MANNING W. D., M. A. Longmore, P.C. Giordano. The relationship context of contraceptive use at first intercourse. *Fam Plann Perspect* 2000 May-Jun;32(3):104-10.
- MANZINI N. Sexual initiation and childbearing among adolescent girls in KwaZulu Natal, South Africa. *Reprod Health Matters* 2001 May;9(17):44-52.
- McNAIR L. D., J. A. Carter, M. K. Williams. Self esteem, gender, and alcohol use: relationships with HIV risk perception and behaviors in college students. *J Sex marital Ther* 1998 Jan-Mar;24(1):29-36.
- MICHER J. M., J. S. Silva. Nivel de conocimientos y prácticas de riesgo para enfermedades de transmisión sexual (ETS). *SIDA-ETS* 1997 Agosto-Octubre;3(3):68-73.
- MOGILEVSKINA I., T. Tyden, V. Odlind. Ukrainian medical students' experiences, attitudes, and knowledge about reproductive health. *J Am Coll Health* 2001 May; 49(6): 269-72.
- MORA-RIOS J., G. Natera. Expectativas, consumo de alcohol y problemas asociados en estudiantes universitarios de la ciudad de México. *Salud Publica Mex* 2001;43:89-96.
- NEMCIC N., S. Novak, L. Maric, I. Novosel, O. Kronja, D. Hren, A. Marusic, M. Marusic. Development and validation of questionnaire measuring attitudes towards sexual health among university students. *Croat Med J* 2005;46(1):52-57.
- ORTÍZ-ORTEGA A., G. García De la Torre, F. Galván, P. Cravioto, F. Paz, C. Díaz-Olavarrieta, C. Ellertson, A. Cravioto. Abortion, contraceptive use, and adolescent pregnancy among first-year medical students at a major public university in Mexico city. *Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health* 2003;14(2):125-130.
- PELTZER K. Factors affecting condom use among South African university students. *East Afr Med J* 2000 Jan; 77(1):46-52.
- PIEDRA K. A., B. O'Brien, S. C. Pilon. Drugs use and risk behavior in a university community. *Rev Latino-am Enfermagem* 2005 novembro-dezembro;13(número especial):1194-200.
- PILLON S. C., B. O'Brien, K. A. Piedra. The relationship between drugs use and risk behaviors in brazilian university students. *Rev Latino-am Enfermagem* 2005 novembro-dezembro;13(número especial):1169-76.
- POULIN C., L. Graham. The association between substance use, unplanned sexual intercourse and other sexual behaviours among adolescent students. *Addiction* 2001 Apr;96(4):607-21.
- POULSON R., M. Eppler, T. Satterwhite, K. Wuensch, L. Bass. Alcohol consumption, strength of religious believes, and risky sexual behavior in college students. *College Health*. 1998. 46: 227-231.
- PRINCE A., A. Bernard. Sexual Behavior and safer sex practices of college students on a commuter campus. *College Health*. 1998. 47: 11-21.
- SALLAH E. D., M. Grunitzky-Bekele, K. Bassabi, K. Dodzro, A. Sadzo, A. K. Balogou, E. K. Grunitzky, L. Gaudreau. Sexual behavior, knowledge and attitudes to AIDS and sexually transmitted diseases of students at the University of Benin (Togo). *Santee* 1999 Mar-Apr;9(2):101-9
- SIGUSCH V. The neosexual revolution. *Arch Sexual Behavior*. 1998. 27 (4): 331-358.
- SNEED C. D., D. E. Morisky, M.J. Rotheram-Borus, V. Ebin, C.K. Malotte, M. Lyde, J. K. Gill. «Don't know» and «didn't think of it»: condom use at first intercourse by Latino adolescents. *AIDS Care* 2001 Jun;13(3):303-8.
- SUEIRO E., J. L. Diéguez, A. González. Jóvenes que realizan estudios universitarios: salud sexual y reproductiva. *Aten Primaria* 1998; 21(5):283-288
- TYDEN T., C. Björkelun, V. Odlind, S. Olsson. Increased use of condom among female university students: a five year follow-up of sexual behavior. *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*. 1996. 75: 579-584.
- UPCHURCH D. M., L. Levy-Storms, C. A. Sucoff, C. S. Aneshensel. Gender and ethnic differences in the timing of first sexual intercourse. *Fam Plann Perspect* 1998 May-Jun; 30(3):121-7.
- VISSER R. de, A. Smith, J. Richters. Can we generalise to other young people from studies of sexual risk behaviour among university students? *Australian and New Zealand Journal of Public Health* 2005; 29(5):436-441.
- WEINBERG M., I. Lottes, D. Aveline. AIDS risk reduction strategies among Unites States and Swedish heterosexual university students. *Archives of Sexual Behavior*. 1998. 27 (4): 385-401.
- WENDT S, Solomon L. Barriers to condom use among heterosexual male and female college students. *College Health*. 1995. 44: 105-109. 

---

Este artículo es citado así:

Staines-Orozco H. S., M. A. Fraga, R. Menchaca, J. Salazar, A. C. Vargas, J. Bucardo y C. E. Cano. 2009: *Actitudes sexuales y uso del condón en estudiantes universitarios de Ciudad Juárez, México*. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 3(2): 84-96.

## Resúmenes curriculares de autor y coautores

**HUGO SALVADOR STAINES OROZCO.** Originario de Ciudad Juárez, Chih., Médico Cirujano y Partero UACH, 1974. Especialidad en Cirugía Pediátrica, UNAM 1981. Jefe de Residentes Instituto Nacional de Pediatría, 1980-81. Especialidad en Docencia Biomédica, UACJ 1998. Presidente de la Sociedad Mexicana de Cirugía Pediátrica 2003-05. Capítulos en libros publicados: Historia de la Pediatría en México Fondo de Cultura Económica 1997 e Historia de la Cirugía Pediátrica Edición de la Sociedad Mexicana de Cirugía Pediátrica, 1997. Artículos Publicados 29. Proyecto binacional de investigación «U.S.- Mexico Partnership for the prevention, Diagnosis, and control of Tuberculosis and Related infectious Diseases», UTEP 2005-2008. Cargos académicos en la UACJ, Coordinador del Postgrado de Pediatría Médica de 1990 al 2000. Coordinador de la Academia de Gineco-Obstetricia y Pediatría del Programa de Médico Cirujano de 1997 al 2000. Es PTC de la UACJ en Clínica de Pediatría de 1981-2000. Nosología de Pediatría 1995 al 2006 y el Posgrado de Pediatría Médica 2000-09. Jefe del Departamento de Ciencias Médicas, 2000-06. Director del Instituto de Ciencias Biomédicas 2006 a la fecha.

**MIGUEL ANGEL FRAGA VALLEJO.** Tiene estudios de especialidad en medicina familiar, atención primaria y en docencia (con honores); también tiene maestría en nutrición. Además, cursó 5 diplomados en el área de educación y 2 en nutrición. Ha sido profesor de la Facultad de Medicina Tijuana de la Universidad Autónoma de Baja California desde 1986 en las áreas de Salud Pública, Sociología Médica, Promoción de la Salud, Propedéutica Médica y Metodología de la Investigación principalmente. En la actualidad, es profesor de tiempo completo titular definitivo en dicha institución y es el coordinador de actividades comunitarias de la Facultad. Ha impartido más de 45 conferencias académicas y científicas y ha participado en la organización de más de 20 eventos académicos (cursos, simposiums, seminarios, congresos) de nivel regional y binacional. Ha sido ganador del reconocimiento al desempeño académico en los últimos siete concursos bianuales en la UABC de los cuales en los últimos cuatro ha sido distinguido con el máximo nivel de calidad académica (nivel 5). Practica medicina privada desde 1986 y tiene la experiencia de haber trabajado en el Gobierno Municipal de Tijuana como Jefe de Bienestar Social de 1989-92; actualmente mantiene fuertes relaciones con las autoridades gubernamentales tanto del municipio como del Estado, así como con el sistema de educación indígena, con quienes desarrolla actividades comunitarias en coordinación. Desarrolla actividades de servicio e investigación comunitaria con GSPH de SDSU en donde cuenta con un nombramiento como profesor asociado adjunto desde Julio del 2000. A la vez, forma parte de un equipo de investigación de UCSD en el área de prevención de VIH desde el año 2000 y es co-autor en varios artículos indexados sobre VIH/SIDA y UDI. Ha publicado en revistas de divulgación arbitradas regionales con fines educativos. Desarrolla actividades de investigación formal en nutrición y prevención de enfermedades de transmisión sexual registradas en la UABC. Es fundador y coordinador general del Proyecto VIIDAI desde 1998, que incluye actividades de integración interinstitucional, educación, servicio e investigación, con la participación de la UABC-SDSU-UCSD, así como el gobierno del Estado de Baja California y organizaciones no gubernamentales.

**RUFINO MENCHACA DÍAZ.** Actualmente es alumno del programa de Doctorado en Ciencias de la Salud de la Facultad de Medicina y Psicología de la Universidad Autónoma de Baja California. Tiene el título de Médico General extendido por la Universidad Autónoma de Coahuila, con especialidad en Neurología Clínica realizada en el Centro Médico Nacional Siglo XXI, del Instituto Mexicano del Seguro Social en la Ciudad de México. Ha laborado desde 1992 en la Ciudad de Tijuana como Neurólogo Clínico y ha sido médico neurólogo adscrito a diferentes Instituciones de Salud, entre ellas el Hospital Regional No. 20 del Instituto Mexicano del Seguro Social y el Hospital General de Tijuana y el Hospital Infantil de las californias. En el año 2005 obtiene el grado de Maestro en Salud Pública por parte de la Universidad Autónoma de Baja California. Desde este año se ha incorporado a actividades como docente dentro de los programas de pregrado y posgrado en la Facultad de Medicina y Psicología de la Universidad Autónoma de Baja California. Ha impartido las materias de Epidemiología, Estadística, Metodología de la Investigación, Investigación Aplicada, Neurociencias y Neurología Clínica entre otras. Actualmente es asesor de proyectos de investigación en el programa de posgrado de Maestría en Salud Pública.

**JUAN SALAZAR REYNA.** Tiene estudios de especialidad en Inmunología y en docencia. Además, cursó 2 diplomados en el área de educación y uno en Seguridad e Higiene Industrial. Ha sido profesor de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Tamaulipas desde 1986 en las áreas de Inmunología, Fisiología II y Metodología de la Investigación principalmente. En la actualidad, es profesor de tiempo completo titular definitivo en dicha institución y es el coordinador de Investigación de la Facultad. Ha impartido más de múltiples conferencias académicas y científicas. Practica medicina privada desde 1986 y tiene la experiencia de haber trabajado en el Instituto Mexicano de Seguro Social; actualmente mantiene fuertes relaciones con las autoridades gubernamentales en el área de la salud tanto del municipio como del Estado. Forma parte de un equipo de investigación de La Facultad de Medicina, en coordinación con la Universidad Autónoma de Nuevo León, en el área de genotipificaciones virales desde el año 1996 y es co-autor en varios artículos indexados sobre VIH/SIDA y Hepatitis C. Ha publicado en revistas de divulgación arbitradas regionales con fines educativos. Desarrolla actividades de investigación formal en Inmunología y alergología.

**ADRIANA CAROLINA VARGAS OJEDA.** Originaria de Tijuana, B.C., Médico cirujano egresada de UNAM, con especialidad en pediatría del Hospital Infantil de México en donde recibió el premio «Luis Torregrosa» por mejor residente. Maestría en Administración de la Educación Superior en la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Obtuvo el grado de Doctora en Ciencias de la Educación en UIA-Noroeste con Mención Honorífica. Es Profesora de Tiempo completo definitivo en la Facultad de Medicina y Psicología de la UABC. Ha desempeñado diversos cargos académicos en la UABC, entre otros, Directora de la Facultad de Medicina Tijuana de la UABC, Vicerrectora del campus Tijuana UABC, Jefa de Departamento de Asuntos Académicos y actualmente Coordinadora de Posgrado e Investigación en la Facultad de Medicina. Cuenta con publicaciones en libros y revistas arbitradas. Ha impartido las materias de Genética, Pediatría e Inmunología tanto a nivel de licenciatura como en el Posgrado. Ha participado en la creación del Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud. Participado desde 1998 en proyectos binacionales de investigación y entrenamiento en VIH/SIDA y Tuberculosis, como lo es el programa TIES-USAID, entre otros.

**JESÚS MARÍA BUCARDO AMAYA.** Nacido en Tijuana, Baja California, actualmente es profesor asistente clínico e investigador del departamento de psiquiatría de la escuela de medicina de la Universidad de California en San Diego (UCSD) y ejerce como médico psiquiatra con el departamento de salud mental del Condado de Riverside California. El Dr. Bucardo egresó en 1983 como médico general de la escuela de medicina de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) en Tijuana. Continuó su formación académica y profesional en la Escuela Superior de Salud Pública de la Universidad Estatal de San Diego, California (SDSU) donde en 1990 obtuvo el grado de maestro en Salud Pública, con enfoque en epidemiología y bioestadística. De 1991-93 fue becario de postgrado del Instituto Nacional de Salud Mental de Estados Unidos (National Institute of Mental Health—NIMH) adscrito al Centro de Investigaciones y Prevención de SIDA de la escuela de medicina de la Universidad de California en San Francisco (UCSF) donde su área de enfoque fue epidemiología clínica y estudios de intervención y preventivos de SIDA. Además, participó la evaluación internacional de programas de intercambio de jeringas realizado por el Centro de Control de Enfermedades (CDC) de Atlanta. De 1993-95 fue Epidemiólogo titular y Coordinador del Servicio de Epidemiológico de VIH/SIDA para el Departamento de Salud del Condado de San Diego, California. Finalmente, en 1999 se graduó como médico psiquiatra de la escuela de medicina de la Universidad de California, San Diego (UCSD), donde hoy continúa como profesor clínico asistente y participa en varios estudios de investigación y docencia. Su área de enfoque de investigación es la prevención de VIH/SIDA, la rehabilitación psicosocial y aspectos culturales de aceptación y adherencia al tratamiento de esquizofrenia. Ha participado como investigador principal o co-investigador en más de diez estudios mayores de VIH/SIDA y esquizofrenia, y ha publicado o presentado más de 40 artículos científicos en revistas, libros y congresos nacionales e internacionales de salud pública y psiquiatría.

**CARLOS EXIQUIO CANO VARGAS.** Originario de Cd Juárez Chih., Médico Cirujano de la Escuela de Medicina UACH, 1973. Especialidad en Ginecología y Obstetricia en el Hospital de Gineco-Obstetricia «Dr. Ignacio Morones Prieto» del I.M.S.S. Monterrey, N.L. 1980. Sub-Especialidad en Ginecología Endocrina, Hospital de Gineco-Obstetricia «Dr. Luis Castelazo Ayala» del I.M.S.S. D.F., 1981 Especialización en Docencia Biomédica. Departamento de Ciencias Básicas del Instituto de Ciencias Biomédicas de la UACJ, 1998. Coordinador de los posgrados del Departamento de Ciencias Médicas, UACJ, 2000-2006. Jefe del Departamento de Ciencias Médicas del ICB / UACJ, 2006-2009. Publicaciones 23.



# Efecto del diazinón sobre el cultivo de linfocitos de sangre periférica de humano

## Diazinon effect on cultivated lymphocytes from human peripheral blood

YUREN CASTILLO-SOSA<sup>1</sup>, ANÍBAL SIERRA-FONSECA<sup>1</sup>, ALEJANDRO MARTÍNEZ-MARTÍNEZ<sup>1</sup> Y FERNANDO PLENGE-TELLECHEA<sup>1,2</sup>

*Recibido: Mayo 13, 2009*

*Aceptado: Julio 17, 2009*

### Resumen

Se evaluó el efecto del plaguicida organofosforado diazinón sobre el cultivo de linfocitos de sangre periférica humana. Este plaguicida se utiliza para el control de plagas de insectos y como acaricida. Las aplicaciones se hicieron con dos presentaciones distintas: una comercial de uso común, denominado Knox Out® y otra presentación de grado analítico de estándar. Para la obtención de células se empleó el método de sedimentación de eritrocitos. Los linfocitos aislados se incubaron en medio de cultivo por 24, 48 y 72 h, y fueron expuestos a diferentes concentraciones de diazinón ( $\mu\text{M}$ -mM). Los diferentes tratamientos se realizaron en ausencia o presencia del mitógeno fitohemaglutinina (PHA). Se realizó un primer set de barridos de diazinón sin PHA utilizando un amplio margen de concentraciones de 0.1 a 1 mM y un segundo set de experimentos con concentraciones de 5  $\mu\text{M}$  hasta un máximo de 50  $\mu\text{M}$ , en ausencia y presencia de PHA. Los resultados del primer set no mostraron efectos totalmente letales sobre los linfocitos visiblemente expuestos al microscopio. Las concentraciones del set de entre 5 y 50  $\mu\text{M}$  fueron las que presentaron un mayor efecto sobre los linfocitos, disminuyendo el número de células viables o estimulando la proliferación sobre el control. Este resultado no se observó con diazinón comercial y PHA, donde sólo disminuyó el número de células viables. Se visualizaron, de forma ocasional, células con indicios de necrosis y apoptosis en los cultivos expuestos al diazinón.

**Palabras Clave:** Plaguicida organofosforado, linfocitos, sangre, cultivos.

### Abstract

The effect of diazinon, an organophosphate pesticide used to control pests such as acarine and insects, was evaluated in cultured human peripheral blood lymphocytes. Two diazinon presentations were used: commercially available diazinon (Knox Out®, Mexico) and an analytical grade standard. The lymphocytes cellular pellet was obtained by the erythrocyte sedimentation method to obtain the mononuclear cells suspended in plasma. The lymphocytes were incubated in culture medium for 24, 48 and 72 h, in absence and presence of different diazinon concentrations ( $\mu\text{M}$ -mM). These treatments were in absence and presence of mitogen phytohemagglutinin (PHA). An initial study was carried out with a broad range of diazinon concentrations (0.1-1 mM) without PHA and since high concentration showed no effect, a second set of experiments was repeated using concentrations ranging from 5 until 50  $\mu\text{M}$  of both pure and commercial diazinon, in the absence or presence of PHA. No significant effects were detected for the concentrations between 0.1 and 1 mM. Concentrations of 5 to 50  $\mu\text{M}$  drastically caused reduction of cell viability or stimulated lymphocyte proliferation over control. Nevertheless, this effect was not observed in the presence of diazinon and PHA, only a decrease the quantity of viable cells was observed. Additionally, necrotic and apoptotic cells were visualized in cultures exposed to diazinon.

**Keywords:** Organophosphate pesticide, lymphocyte, cell culture.

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Henry Dunant 4016, Zona Pronaf. Cd. Juárez, Chih. México, C. P. 32310.

<sup>2</sup> Dirección electrónica del autor de correspondencia: fplenge@uacj.mx

## Introducción

Los organofosforados son plaguicidas sintéticos formados por un átomo de fósforo unido a cuatro de oxígeno, y en algunos casos a tres de oxígeno y uno de azufre, es decir, los organofosforados son ésteres orgánicos del ácido fosfórico y estos actúan inhibiendo enzimas de tipo esterasas.

Esto es debido a que una de las uniones fosfato-oxígeno es de tipo inestable, lo que favorece la unión con estas últimas, logrando que la hidrólisis de los neurotransmisores, específicamente la acetilcolina y la butirilcolina, sea interrumpida. El principal blanco de los organofosforados son las colinesterasas (acetilcolinesterasas), dañando así el sistema nervioso y el hepático haciendo que el sustrato de estas enzimas se acumule y produzca diferentes síntomas al individuo expuesto. Es por esto que son utilizados como plaguicidas agrícolas, por ser altamente efectivos contra los insectos que atacan los cultivos en todo el mundo.

El diazinón o *Tiofosfato de o,o-dietilo y de o-2-isopropil-6-metilpirimidin-4-ilo*, es de textura oleosa, incolora e inodora y es uno de los organofosforados más usados en la actualidad. En 1983, el uso del diazinón en Estados Unidos era aproximadamente 1,180 t (Howard, 1991), en 1990, se utilizaron 4,670 (Larkin y Tjeerdema, 2000), casi un 400 % de aumento de consumo del producto. En la actualidad existen varios reportes sobre los efectos del diazinón sobre el sistema nervioso, al unirse con la acetilcolinesterasa (Korsak y Sato, 1977; Singh y Drewes, 1987; Sultatos, 1994; Stephens *et al.*, 1995; Prendergast *et al.*, 1997; Socko *et al.*, 1999), sin embargo, existe poca información que reporten los efectos genotóxicos del diazinón.

En 1988, la Organización Mundial de la Salud (OMS), reportó al diazinón como «sin evidencia de potencial mutagénico». En contraparte, Bianchi-Santamaría (1997) encontró que la exposición al diazinón favorece la formación de micronúcleos en células sanguíneas de humano, así como un aumento en el intercambio de cromátidas hermanas

(López y Carrascal, 1987; Sobti *et al.*, 1982). De acuerdo con Roldán y Sánchez (2004) el envenenamiento por plaguicidas inhibidores de colinesterasas, como organofosforados y carbamatos, es muy común entre los agricultores, sobre todo en países en vías de desarrollo. El uso del diazinón no solo se encuentra limitado como insecticida en cultivos, sino también para desparasitar ganado (principalmente bovino) y para evitar que el ganado sea mordido por ácaros e insectos dañinos, los cuales son vectores de enfermedades (Wester *et al.*, 1993; Maldonado *et al.*, 2003).

Los estudios hechos con diazinón como inhibidor de enzimas del sistema nervioso, específicamente la acetilcolinesterasa, demuestran que presenta un riesgo para la salud debido a su inhibición irreversible, pudiendo causar incluso la muerte de personas expuestas (Davies y Holub, 1980; Gallo y Lawryk, 1991). Existe evidencia de que el diazinón no solo ejerce efectos anticolinérgicos, sino también sobre otros blancos como la síntesis de proteínas (Marinovich *et al.*, 1996).

Se ha sugerido que puede afectar la síntesis de ADN en células gliales y neuronas en cultivos celulares (Qiao *et al.*, 2001). Flaskos *et al.* (2006) demostraron que el diazinón tiene blancos específicos en el desarrollo de las neuritas en células gliales y neuronas. Este efecto se ve asociado a la disrupción de proteínas citoesqueléticas de axones. Por tanto, la acción de diazinón no solo es sobre la actividad colinesterasa. El objetivo de este trabajo es determinar el efecto nocivo de diazinón en un sistema *in vitro* de linfocitos en cultivo, y observar los efectos causados sobre la viabilidad de las células.

## Materiales y métodos

Las células mononucleadas se aislaron de sangre periférica de hombres adultos, aparentemente saludables, entre 22 y 24 años de edad. Los sujetos no fumaban y no consumían a menudo bebidas alcohólicas. La sangre se obtuvo por medio de venopunción con tubos BD Vacutainer® de 6 ml heparinizados (NJ, USA), extrayendo un total de 12 ml de sangre de la parte interior del codo de cada donador. Las células nucleadas se aislaron mediante la metodología descrita por Verma y Babu (1995), en la cual las células se separan por medio de sedimentación durante un tiempo aproximado de 40 min a una inclinación de 45° para facilitar la separación. El plasma rico en linfocitos que corresponde a la fase superior (aproximadamente 3 ml) se transfirió a tubos tipo Falcón de 15 ml estériles donde se lavaron por centrifugación a 5,000 rpm con otra parte igual de solución amortiguadora de fosfatos PBS (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 4.3 mM, NaCl 137 mM, KCl 2.7 mM y KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1.4 mM a un pH de 7.4 en agua inyectable) con el fin de eliminar los componentes plasmáticos.

Los cultivos se realizaron resuspendiendo las células aisladas en 1 ml de medio Mc Coy 5A modificado, suplementado con 10 % de suero fetal bovino (In Vitro, S.A., México) y antibióticos (100 U/ml de penicilina y 100 µg/ml de estreptomina), determinando la viabilidad por medio de la cámara de Neubauer o Hemocitómetro, usando el método de exclusión del azul tripano (Kaltenbach, 1958). Para ello se mezclaron 50 µl de la solución de células con 50 µl del colorante azul tripano (0.4 % (p/v) y NaCl al 0.85 % (p/v)). Los linfocitos no se dividen bajo condiciones normales de cultivo, requiere la presencia de un mitógeno en el medio para lograr la proliferación celular. La fitohemaglutinina (PHA) es una lectina obtenida del frijol rojo (*Phaseolus vulgaris*) que estimula la proliferación de linfocitos T. En este caso, se llevó a cabo un set de experimentos sin PHA y otro con PHA en control y con plaguicida. Se agregó al medio a una

concentración final de 5 µg/ml. Por último, los tubos se inocularon a una densidad celular de 1X10<sup>6</sup> células viables/ml (equivalente 1.0e+6 base e). Los tubos se agitaron suavemente con la mano durante 2 s para mezclar bien los componentes; se incubaron y monitorearon cada 24, 48 y 72 h a 37 °C en una incubadora de CO<sub>2</sub> (Fisher Scientific) con ambiente de 30 % de humedad y contenido de 5 a 6 % de CO<sub>2</sub>. Los tubos se colocaron en posición inclinada en la incubadora, esto con el fin de mejorar el intercambio gaseoso y proveer las condiciones óptimas para el crecimiento celular. Los linfocitos únicamente se dividen un par de veces tras la estimulación con PHA, por lo que estas células no se subcultivaron.

El número de células viables, células totales y porcentaje de viabilidad, se calcularon de acuerdo a la siguiente fórmula descrita por Freshney (2000):

$$\text{N}^\circ \text{ de células viables/ml} = \text{N}^\circ \text{ de células vivas contadas} \times 10,000 \times \text{factor de dilución}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de células totales/ml} = (\text{N}^\circ \text{ de células vivas contadas} + \text{N}^\circ \text{ de células muertas contadas}) \times 10,000 \times \text{factor de dilución}$$

$$\% \text{ viabilidad} = (\text{N}^\circ \text{ de células viables} / \text{N}^\circ \text{ de células totales}) \times 100$$

Donde el número de células se multiplica por 10,000 dado que el volumen que corresponde a la región contada en el hemocitómetro corresponde a 0.1 cm<sup>3</sup>. La visualización se realizó utilizando un microscopio de contraste de fases (Leica modelo DME, USA) y objetivo 40X. Sólo se utilizó el objetivo de 100X para fotografías de células con indicios de necrosis u apoptosis. Estas fueron tomadas utilizando una cámara digital (Olympus Sp 510 UZ, 7.1 mp).

Posteriormente, el efecto del plaguicida se evaluó de dos formas: plaguicida comercial de nombre KnoxOut® 2FM (México) a una concentración de 2 lb/galón (p/v), siendo

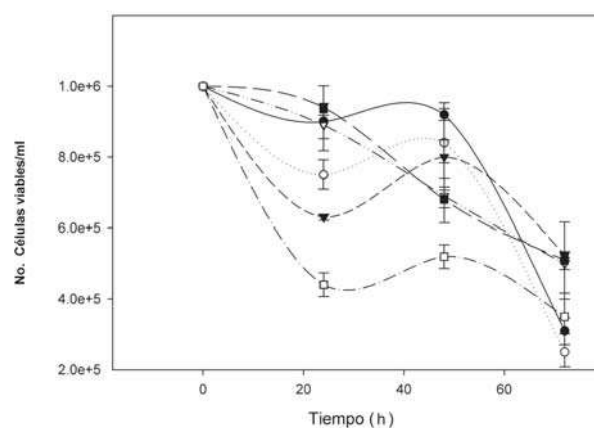
el diazinón el ingrediente activo (23 %) y en forma de diazinón grado analítico al 99 % de pureza (Sigma, USA) y disuelto en agua desionizada. Además se monitorearon los efectos del diazinón en medio de cultivo en presencia del mitógeno fitohematoglutina (PHA) (Sigma, USA). Con el fin de conocer en general los efectos de las dos formas de diazinón utilizadas, se realizaron cultivos independientes teniendo intervalos de concentración entre 0.1 y 1 mM. De acuerdo a estos resultados preliminares, se seleccionó para el resto de experimentos el intervalo de entre 5 y 50  $\mu$ M en ausencia o presencia de PHA.

Los resultados obtenidos de al menos tres repeticiones de cultivos diferentes se analizaron y graficaron en el programa Sigma Plot® 8.0. Se obtuvieron las medias de cada tratamiento, la desviación estándar y se determinó el error estándar.

## Resultados

La exposición de ambas presentaciones del diazinón puro o comercial sobre células mononucleadas causó efectos diferentes sobre la viabilidad celular a través del tiempo de incubación, es decir, sobre el grado de resistencia a la muerte durante el tiempo y por la exposición al diazinón. Estos efectos observados en diferentes concentraciones del diazinón consistieron básicamente en tres aspectos sobre la viabilidad celular: una permanencia de células viables, la proliferación de viables en cultivo y otro donde el número de viables, disminuye por su muerte. Como experimento inicial del trabajo sometimos a las células al diazinón comercial Knox Out en un margen de concentración del plaguicida de entre 0.1 a 1 mM con el fin de observar su efecto de forma general (Figura 1). Respecto a los tres tiempos de incubación (24, 48 y 72 h) a las 24 y 48 h, el número de células viables disminuyó en la mayoría de las diferentes concentraciones de plaguicida utilizadas, sin

alcanzar completamente la letalidad, exceptuando las concentraciones de 0.5 ( $\nabla$ ) y 0.750 ( $\blacksquare$ ) mM que no produjeron ningún cambio de importancia sobre la viabilidad a las 24 h de incubación. Las concentraciones de 0.1 ( $\circ$ ) y 0.250 ( $\blacktriangledown$ ) mM disminuyeron la viabilidad de forma moderada a intermedia con valores cercanos a 50 % respecto de su control proliferativo, es decir, aproximadamente entre  $8.0 \times 10^5$  y  $6.0 \times 10^5$  células/ml. La concentración de 1 mM ( $\square$ ) es la que produjo una disminución considerable sobre la viabilidad, situándose entre  $6.0 \times 10^5$  y  $4.0 \times 10^5$  células viables/ml en ambas incubaciones de 24 y 48 h. Los cultivos de 72 h, indistintamente de la concentración del plaguicida, fueron más afectados en la viabilidad de los linfocitos incluyendo a su control ( $\bullet$ ), observándose una mayor disminución de células viables respecto del inóculo inicial del cultivo ( $1.0 \times 10^6$  células/ml), prácticamente en más de 50 %, situado entre valores de  $6.0 \times 10^5$  y  $2.0 \times 10^5$  células viables/ml. Cabe señalar que las concentraciones entre 0.250 a 0.750 mM del plaguicida mantuvieron una viabilidad mayor que su control.



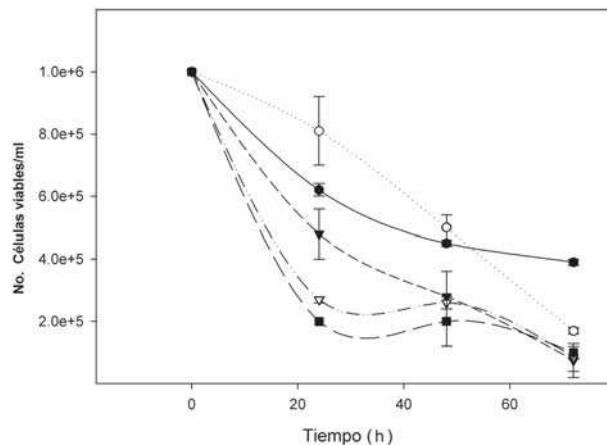
**Figura 1.** Barrido del diazinón comercial Knox Out de 0-1 mM sobre linfocitos en cultivo frente al tiempo en h con el objetivo de identificar las concentraciones de mayor afección de los linfocitos, donde ( $\bullet$ ) representa el control, ( $\circ$ ) 0.100, ( $\blacktriangledown$ ) 0.250, ( $\nabla$ ) 0.500, ( $\blacksquare$ ) 0.750 y ( $\square$ ) 1 mM. El número de células viables/ml se expresa en base e.



De acuerdo con los datos de la gráfica anterior, en la mayoría de tratamientos se pueden apreciar disminuciones en el número de células respecto de su control en diferentes tiempos de incubación; se llevó a cabo un segundo set de experimentos, utilizando concentraciones de margen mucho menor, entre 5 y 30  $\mu\text{M}$  de diazinón Knox Out, basados en la disminución de la viabilidad de células a las concentraciones más bajas, de 0.1 y 0.250 mM, con el objetivo de encontrar con mayor detalle efectos distintos sobre la viabilidad de las células expuestas al plaguicida en tiempo y concentración. Los resultados se muestran en la Figura 2. A las 24 h de incubación, 5  $\mu\text{M}$  de Knox Out ( $\circ$ ) causaron que la viabilidad celular se mantuviera muy por encima de su control ( $6.0 \times 10^5$  células/ml), pero por debajo del inóculo inicial, sin embargo, a las 48 h se mantuvo muy poco por encima de su control, incluso las barras de error se sobrepone.

El resto de las concentraciones ensayadas a este tiempo sí mostraron disminuciones en su viabilidad, entre  $6.0 \times 10^5$  hasta  $2.0 \times 10^5$ , como es el caso de 30  $\mu\text{M}$  ( $\blacksquare$ ), que disminuyó su viabilidad a este último valor de  $2.0 \times 10^5$ . Los tiempos de incubación de 48 y 72 h, mostraron una tendencia a la disminución progresiva conforme al aumento del tiempo y del plaguicida. El número de células viables/ml descendió por debajo de sus controles y del inóculo inicial, sobre todo a las 72 h, donde prácticamente todas las concentraciones de plaguicida se situaron alrededor o por debajo de  $2.0 \times 10^5$  células viables/ml, excepto los controles sin plaguicida que se situaron por encima de  $4.0 \times 10^5$  células/ml.

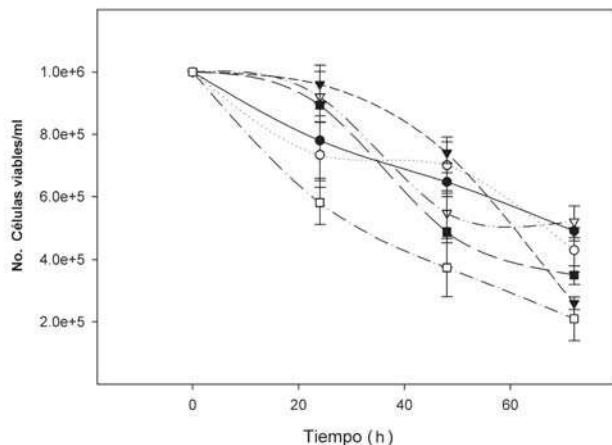
Estas mismas condiciones se repitieron en presencia del mitógeno fitohematoglutina (PHA). Los resultados obtenidos mostraron que no hubo diferencias importantes con respecto a la evaluación con Knox Out sin PHA, excepto por el hecho de que el número de células con 5  $\mu\text{M}$  de plaguicida no fue mayor al número de células de los cultivos control (datos no mostrados).



**Figura 2.** Cultivos de linfocitos en barrido de diazinón comercial Knox Out a concentraciones más bajas (5-30  $\mu\text{M}$ ) respecto de las utilizadas en la Figura 1 sobre linfocitos en cultivo frente al tiempo en h. Donde ( $\bullet$ ) es el control, ( $\circ$ ) 5, ( $\blacktriangledown$ ) 10, ( $\blacktriangledown$ ) 15, y ( $\blacksquare$ ) 30  $\mu\text{M}$  del plaguicida. En el eje de las abscisas se expresa en número de células viables/ml.

La Figura 3 muestra la evaluación del efecto del diazinón grado analítico de estándar a una concentración de 5-50  $\mu\text{M}$ . Se observó que al tiempo de incubación de 24 h, las concentraciones de 10, 15 y 30  $\mu\text{M}$  sí presentaron valores de viabilidad alrededor del inóculo inicial ( $1.0 \times 10^6$  células/ml), sin embargo, las concentraciones de 5 ( $\circ$ ) y 50  $\mu\text{M}$  ( $\square$ ) produjeron una disminución del número de células viables/ml respecto a su control, que se sitúa en aproximadamente  $8.0 \times 10^5$  células/ml, principalmente 50  $\mu\text{M}$  con alrededor de  $6.0 \times 10^5$  células/ml. A las 48 y 72 h las células sin plaguicida tendieron a disminuir, pero se mantuvieron en valores cercanos a  $6.0 \times 10^5$  células/ml. A las 48 h de incubación 5 y 10  $\mu\text{M}$  de diazinón mantuvieron valores de viabilidad cercanos a su control, el resto de concentraciones tuvieron valores de disminución del número de células viables/ml entre  $6.0 \times 10^5$  y  $4.0 \times 10^5$  células/ml, sobre todo 50  $\mu\text{M}$  de diazinón que rebasó estos límites. A las 72 h de incubación prácticamente se observó una disminución generalizada de la

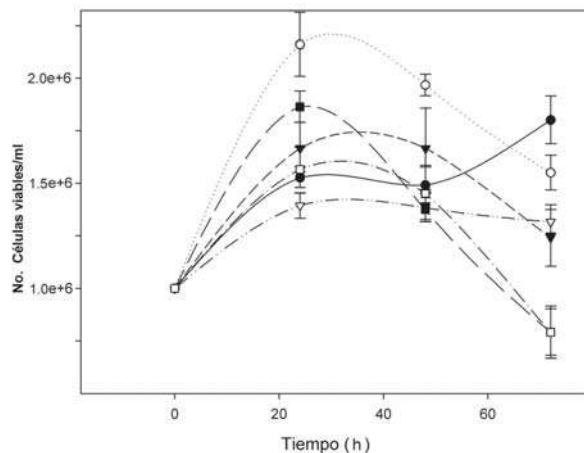
viabilidad celular, excepto 5 y 15  $\mu\text{M}$ , que se mantuvieron alrededor del control. Los valores de viabilidad mayor a menor se situaron entre  $6.0 \times 10^5$  y  $2.0 \times 10^5$  células viables/ml.



**Figura 3.** Exposición de diazinón puro en grado estándar en barrido sobre los cultivos de linfocitos a las concentraciones de entre 5-50  $\mu\text{M}$ , donde (●) es el control, (○) 5, (▼) 10, (▽) 15, (■) 30 y (□) 50  $\mu\text{M}$  del plaguicida.

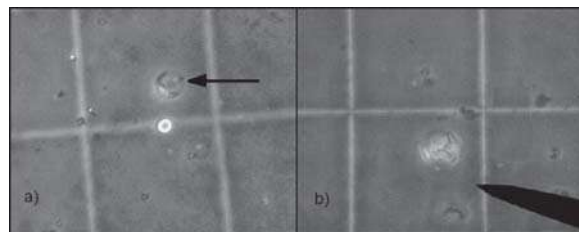
En el siguiente experimento se repitieron las anteriores condiciones con diazinón puro incluyendo de PHA en los medios (Figura 4). Los controles proliferativos de los tiempos de 24, 48 y 72 h (●) se situaron en niveles más elevados de células/ml que en experimentos anteriores debido a la estimulación causada por el mitógeno PHA. Los dos primeros tiempos tuvieron valores de  $1.5 \times 10^6$  células/ml, mientras que a las 72 h se obtuvo un valor más elevado de alrededor de  $1.7 \times 10^6$  células/ml. A las 24 h las células tratadas con diferentes concentraciones de diazinón tuvieron un aumento de la proliferación, sobre todo la concentración de 5  $\mu\text{M}$  (○) alcanzando un umbral que sobrepasó las  $2.0 \times 10^6$  células viables/ml. Sólo la concentración de 15  $\mu\text{M}$  (▽) se situó ligeramente por debajo del control (●). Esta tendencia comenzó a disminuir a las 48 h, y a situarse por debajo del control de 72 h. Dentro del análisis microscópico de las células en cultivo, se pudo apreciar que algunas de ellas

tenían indicios de muerte por necrosis y apoptosis (Figura 5).



**Figura 4.** Efecto del diazinón grado analítico de estándar en barrido y el agente mitógeno PHA sobre la viabilidad de linfocitos de sangre periférica de humano frente al tiempo en h, donde (●) es el control, (○) 5, (▼) 10, (▽) 15, (■) 30 y (□) 50  $\mu\text{M}$  del plaguicida.

La distribución y aparición de estas células no fue regular, encontrándose principalmente en cultivos expuestos con diazinón Knox Out y con diazinón puro en presencia de PHA. Este tipo de daños no fue muy frecuente, por ello, no se reportó un número significativo dentro de los conteos.



**Figura 5.** Fotografía de la imagen de linfocitos tratados con diazinón puro en grado estándar durante 24 h, vistos con el objetivo 100X, en un microscopio óptico de contraste de fases (Leica, USA), donde a) muestra una célula con rasgos típicos de muerte por necrosis y b) célula con rasgos de muerte por apoptosis.

## Discusiones

Los resultados de los experimentos obtenidos con las presentaciones de diazinón puro y comercial Knox Out, mostraron un comportamiento distinto respecto a sus controles. En el caso de las células tratadas con ambas presentaciones de diazinón de forma individual como en presencia de PHA, mostraron con el paso del tiempo un comportamiento natural, ya que a las 72 h disminuyó el número total de células. Sin embargo, las tendencias observadas en las curvas obtenidas del número de células fueron diferentes a las obtenidas en los controles, aumentando o disminuyendo su viabilidad.

El efecto obtenido entre el diazinón puro y el comercial Knox Out fue distinto a pesar de que el compuesto activo es el mismo, esto debido tal vez a que los disolventes del diazinón comercial son los que afectaron en cierta medida las células tratadas. El disolvente utilizado para el Knox Out es desconocido por motivo de patente del producto, no obstante conocemos que su concentración es 23 %. Las estimulaciones de la división celular inducidas por el diazinón puro en presencia de PHA (Figura 4), así como en el caso de la concentración de 5  $\mu\text{M}$  de Knox Out (Figura 2) donde se encontraron el mayor número de células respecto de sus controles (no del inóculo inicial), no han sido previamente reportadas. Cabe destacar en este segundo caso, que dada la ausencia de PHA, se trate de una resistencia a la muerte más que de una proliferación, ya que la concentración de 5  $\mu\text{M}$  no supera en número de células al inóculo inicial (Figura 2).

Por lo anterior, se puede pensar que la interacción del plaguicida se da en dos formas distintas: a) que las células a esta concentración se ven protegidas por algún mecanismo aún desconocido, b) el diazinón estimula la división celular a esta concentración, y por ello se encuentra una mayor cantidad de células con respecto a los controles, es decir, que esté actuando como un agente mitógeno. Los efectos del diazinón sobre la proliferación

celular solo han sido determinados en un trabajo, el cual fue realizado por Paraoanu *et al.* (2005) en el que determinaron que el diazinón disminuye el crecimiento celular en células retinales de gallina, siendo la concentración de 80  $\mu\text{M}$  la más dañina para las células. Se ha demostrado que los organofosforados tienen efectos sobre la viabilidad y la proliferación en células gliales cuando se han manejado concentraciones micromolares (Guizzetti *et al.*, 2005; Caughlan *et al.*, 2004; Qiao *et al.*, 2001; Cao *et al.*, 1999). Estudios *in vivo* apoyan el hecho de que los organofosforados disminuyen el número de células. El trabajo de García *et al.* (2002) demostró que la exposición a diferentes dosis de clorpirifos disminuyó la expresión de marcadores de proteínas en astrocitos. Roy *et al.* (2004) determinaron una disminución en las células gliales cuando fueron expuestas al clorpirifos.

Otros trabajos demuestran que el diazinón interactúa no solo en la inhibición de las acetilcolinesterasas, sino posiblemente sobre otras proteínas que participan en el desarrollo (Flaskos *et al.*, 2006; Axelrad *et al.*, 2002; Richards *et al.*, 1999). Con respecto a los resultados obtenidos, el diazinón puede tener efectos sobre proteínas específicas, sobre todo las involucradas en los procesos celulares de división e incluso proteínas involucradas en procesos de muerte celular. Asimismo, los organofosforados, incluyendo al diazinón, pueden inducir la apoptosis y necrosis celular en linfocitos de sangre periférica de humano y tejidos linfáticos (Das *et al.*, 2006; Song *et al.*, 2002) así como en tejidos neurales humanos (Abou-Donia, 2003; Kim *et al.*, 1999) al igual que necrosis en células embrionarias de la retina del pez *Oryzias latipes* (Hamm *et al.*, 1998) en células de la retina de gallina (Paraoanu *et al.*, 2005) y en neuronas corticales primarias de rata (Caughlan *et al.*, 2004). Sin embargo, la aparición de células muertas por necrosis y apoptosis no puede ser directamente atribuida a la presencia del diazinón, ya que como lo describen Song *et al.* (2002), la

presencia de eritrocitos en los cultivos de linfocitos inducen la expresión del factor de necrosis tumoral-alfa (TNF- $\alpha$  por sus siglas en inglés). De igual forma, ellos mencionan que las células mononucleadas de sangre periférica de humano, estimuladas con el mitógeno PHA presentan niveles más altos de INF-gamma y TNF- $\alpha$ . Es importante mencionar que en los controles manejados en presencia y ausencia de PHA, no se encontraron células con necrosis o apoptosis, aunque esto no significa que no hubiese células con estas características, sin embargo, estas morfologías solo fueron encontradas en presencia del plaguicida.

En este trabajo las células muertas por apoptosis y necrosis se encontraron principalmente en los cultivos expuestos al Knox Out, en cultivos en presencia de Knox Out/PHA y en menor cantidad en los cultivos con diazinón puro no comercial. Por tanto, los efectos necróticos en cultivos se pudieran atribuir a compuestos en los que se encuentra disuelto el diazinón en el plaguicida comercial Knox Out, la presencia de PHA, tal como ha sido propuesto por Song *et al.* (2002) y en menor medida al diazinón de la muestra compuesta. Pese al hecho de no encontrar con frecuencia células con necrosis u apoptosis en el análisis microscópico realizado sobre los cultivos expuestos al diazinón grado analítico de estándar, no se descarta la posibilidad de que el diazinón cause necrosis u apoptosis, ya que se encontraron indicios en ambas presentaciones. El estudio realizado por Das *et al.* (2006) sobre linfocitos humanos usando cuatro organofosforados distintos (Monocotrofos, profenofos, clorpirifos y acefato) demostró que estos inducen tanto necrosis como apoptosis, por lo que no se debe descartar que las células encontradas con indicios de apoptosis y necrosis en la observación microscópica, en realidad haya sido por efecto del diazinón.

## Conclusiones

Las concentraciones de diazinón comercial en el intervalo de 0.1 a 1 mM, evidenciaron que en su mayoría causaron la disminución del número de células viables/ml con respecto a los controles manejados, principalmente a las 48 y 72 h de incubación.

Cinco  $\mu$ M de diazinón comercial produjeron un aumento de la viabilidad celular a las 24 h de incubación, pero por debajo del inóculo inicial y la viabilidad se mantuvo similar al control de 48 h. El resto de concentraciones de diazinón utilizadas en los diferentes tiempos de incubación, causaron la disminución del número de células viables.

El diazinón de grado analítico de estándar produjo un aumento de la viabilidad con varias concentraciones ensayadas, principalmente a las 24 h de incubación, en comparación con la versión comercial del plaguicida. El perfil de las curvas de viabilidad a las diferentes concentraciones y tiempos de incubación fue distinto a los tratados con la presentación comercial.

Los cultivos con diazinón de grado analítico de estándar con PHA, presentaron un aumento considerable sobre el número de células viables, principalmente a las concentraciones menores, rebasando considerablemente al inóculo inicial.

Ambas presentaciones de diazinón, grado comercial y grado analítico de estándar, produjeron efectos sobre la viabilidad celular, ya sea aumentando o disminuyendo el número de células mononucleadas en cultivo. El tiempo de exposición y la concentración fueron un factor determinante en los efectos observados, exceptuando el daño por necrosis u apoptosis.

## Agradecimientos

Al Departamento de Ciencias Básicas del Instituto de Ciencias Biomédicas por las aportaciones en especie y en equipo para la realización de este proyecto. Al profesor de genética, Guillermo Bojórquez Rangel, del



Programa de Biología del mismo, por su valiosa contribución. A la Dra. Laura De la Rosa y a los árbitros por su valiosa crítica. Parte de este trabajo fue financiado por los fondos del proyecto CONACyT FOMIX CHIH-2006-CO1-57268 y Fondo para Consolidación de Cuerpos Académicos del Promep (DGPDI).

## Literatura citada

- ABOU-DONIA, M. B. 2003. Organophosphorous-ester-induced chronic neurotoxicity, *Arch. Environ. Health* 58: 484-497.
- AXELRAD, J. C., Howard, C. V. and McLean, W. G. 2003. The effects of acute pesticide exposure on neuroblastoma cells chronically exposed to diazinon. *Toxicology*. 14: (1-2): 67-78.
- BIANCHI-SANTAMARIA. 1997. Human lymphocyte micronucleus genotoxicity test with mixtures of phytochemicals in environmental concentrations. *Mut. Res.* 388: 27-32.
- CAO, C. J., R. J. Mioduszewski., D. E. Menking., J. J. Valdes., E. J. Katz., Eldefrawi, M. E. and A. T. Eldefrawi. (1999). Cytotoxicity of organophosphate anticholinesterases. *In Vitro Cell Dev Biol Anim.* 35(9):493-500.
- CAUGHLAN, A., K. Newhouse., U. Namgung and Z. Xia. 2004. Chlorpyrifos induces apoptosis in rat cortical neurons that is regulated by a balance between p38 and ERK/JNK MAP kinases. *Toxicol Sci.* 78:125-134.
- DAS, T., A. Bardossy, and E. Zehe. 2006. Influence of spatial variability of precipitation in a distributed rainfall-runoff model. *IAHS-AISH Publ.* 303:195-203.
- DAVIES, D. B. and B. J. Holub. 1980. Toxicological evaluation of dietary diazinon in the rat. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* (9): 637-650.
- FLASKOS, J., W. Harris., M. Sachana., D. Muñoz., J. Tack and A. J. Hargreaves. 2006. The effects of diazinon and cypermethrin on the differentiation of neuronal and glial cell lines. *Toxicol Appl Pharmacol.* 219(2-3):172-180
- FRESHNEY, R. I. 2000. Culture of cells. A manual of basic technique. 4th. Edition. Wiley-Liss Inc. USA. 486 p.
- GALLO, M. A. and N. J. Lawryk. 1991. Organic phosphorus pesticides. En: Hayes WJ, Laws ER, editores. Handbook of pesticide toxicology. *San Diego: Academic Press* 917: 1-123.
- GARCIA, S. J., F. J. Seidler, D. Qiao and T. A. Slotkin. 2002. Chlorpyrifos targets developing glia: effects on glial fibrillary acidic protein. *Brain Res Dev Brain Res.*133(2):151-161.
- GUIZZETTI, M., S. Pathak and G. Giordano. 2005. Effect of organophosphorus insecticides and their metabolites on astroglial cell proliferation. *Toxicology*: 215(3):182-190.
- HAMM, J. T., B. W. Wilson and D. E. Hinton. 1998: Organophosphate-induced acetylcholinesterase inhibition and embryonic retinal cell necrosis in vivo in the teleost (*Oryzias latipes*). *Neurotoxicology* 19: 853-870
- HOWARD, P. H. 1991. Pesticides, En vol. 3 of Handbook of environmental fate and exposure data for organic chemicals: Chelsea, Mich., Lewis Publishers. 684 p.
- JOHN A. R. 2003. Introduction to Animal Cell Culture Technical Bulletin. Corning Incorporated Printed in USA 8/03 KP 5M CLS-AN-042.
- KALTENBACH, J. P. 1958. Nigrosin as a dye for differentiating live and dead ascites cells. *Exp. Cell Res.* (15): 12-17.
- KIM, J. S., S. C. Koh., S. K. Lee, and T. S. Chon. 1999. Regulation of acetylcholine esterase and neurotransmitters in *Oryzias latipes* by diazinon, *Kor. J. Environ. Toxicol.* 14: 81-85.
- KORSAK, R. J. and M. M. Sato. 1977. Effects of chronic organophosphate pesticide exposure on the central nervous system. *Clinical Toxicol.* (11): 83-95.
- LARKIN, D. J. and R. S. Tjeerdema. 2000. Fate and effects of Diazinon. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* (166): 49.
- LOPEZ, D. E. and E. Carrascal. 1987. Sensitivity of human lymphocyte chromosome to diazinon at different times during cell culture. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* (38):125-130.
- MALDONADO, S., E. J. Cadena, H. Sumano, A. Martinez and L. Bermudez. 2003. Evaluation of Diazinon and ivermectin efficacy for the control of horn-fly (*Haematobia irritans*) on grazing cattle in Tuxpan, Veracruz, Mexico. *Vet. Mex.* 34: 3.
- MARINOVICH, M., F. Ghilardi and C. Galli. 1996. Effect of pesticide mixtures on in vitro nervous cells: Comparison with single pesticides. *Toxicology* (108): 201-206.
- PARAANU, L. E., M. Becker-Roeck., E. Christ and P. G. Layer. 2005. Expression patterns of neurexin-1 and neuroligins in brain and retina of the chick embryo: Neuroligin-3 is absent in retina. *Neurosci. Lett.* 395 (2):114-117.
- PRENDERGAST, M. A., A. V. Terry and J. J. Buccafuso. 1997. Chronic, low-level exposure to diisopropylfluorophosphate causes protracted impairment of spatial navigation learning. *Psychopharmacology* 129:183-191
- QIAO, D., F. J. Seidler and T. A. Slotkin. 2001. Developmental neurotoxicity of chlorpyrifos modeled in vitro: comparative effects of metabolites and other cholinesterase inhibitors on DNA synthesis in PC12 and C6 cells. *Environ. Health Perspect.* 10: 909-913.
- RICHARDS, P., M. Johnson., D. E. Ray and C. Walker. 1999. Novel targets for organophosphorous compounds. *Chem. Biol. Interact.* 119-120: 503-511.
- ROLDÁN, L. and F. Sánchez. 2004. Santed Neuropsychological sequelae of acute poisoning by pesticides containing cholinesterase inhibitors. *Rev. Neurol.* 38 (6): 591-597.
- ROY, P., H. Salminen., P. Koskimies., J. Simola., A. Smeds., P. Saukko and I. T. Huhtaniemi. 2004 Screening of some anti-androgenic endocrine disruptors using a recombinant cell-based in vitro bioassay. *J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.* 88:157-166.
- SINGH, A. K. and L. R. Drewes. 1987. Neurotoxic effects of low-level chronic acephate exposure in rats. *Environ. Res.* 43(2):342-349.
- SOBTI, R. C., A. Krishan and C. D. Pfaffenberger. 1982. Cytokinetic and cytogenetic effects of some agricultural chemicals on human lymphoid cells in vitro: organophosphates. *Mut. Res.* 102:89-102.
- SOCKO, R., S. Gralewicz and R. Górny. 1999. Long-term behavioural effects of a repeated exposure to chlorphenvinphos in rats. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health.* 12(2):105-17.
- SONG, Y. F., S. Jing., S. Fleischmann and B. M. Wilke. 2002. Comparative study of extraction methods for determination of PAHs from contaminated soils and sediments. *Chemosphere* 4: 993-1001.
- STEPHENS, R., A. Spurgeon., I. A. Calvert., J. Beach., L. S. Levy., H. Berry. 1995. Neuropsychological effects of long-term exposure to organophosphates in sheep dip. *Lancet* 315: 1135-1139.

SULTATOS, L. G. 1994. Mammalian toxicology of organophosphorus pesticides. *J. Toxicol. Environ. Health* 43(3): 271-289.

VERMA, R. S. and A. Babu. 1995. Human Chromosomes Principles and Techniques. 2d Edition. McGraw-Hill. USA, Inc., New York. 419 p.

WESTER, R. C., L. Sedik., J. Melendres., F. Logan., H. I. Maibach, and I. Russell. 1993 Percutaneous absorption of diazinon in humans. *Food Chem.Toxicol.* (8):569-572.

Yu, C., P. P. B. Eggermont, and S. Terebey. 1999. Cross Burg entropy maximization and its application to ringing suppression in image reconstruction. *Lage Processing, IEEE Transactions on Volume 8, Issue 2: 286-292.* 

---

Este artículo es citado así:

Castillo-Sosa Y., A. Sierra-Fonseca, A. Martinez-Martínez y F. Plenge-Tellechea. 2009: *Efecto del diazinón sobre el cultivo de linfocitos de sangre periférica de humano. TECNOCENCIA Chihuahua* 3(2): 97-106.

## Resúmenes curriculares de autor y coautores

**YURÉN ARMANDO CASTILLO SOSA.** En 2007 obtuvo la Licenciatura en Biología en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. El Biólogo Yurén Armando laboró durante dos años en el Laboratorio de Biología Molecular y Bioquímica de la UACJ (2003-2004), ha asistido a diversos congresos nacionales e internacionales en el ramo de medio ambiente, bioquímica y salud, entre ellos, el de Fronteras de la Biomedicina en Monterrey, NL., en 2007; de Bioenergética y Biomembranas (SMB) en Pátzcuaro, Mich., en 2003, donde ha expuesto temas relacionados a plaguicidas. Ha participado en cursos de formación continua durante su formación académica. Realizó su tesis en la misma institución y actualmente se encuentra trabajando para una compañía minera canadiense en Mineral de Ocampo, Chih., en estudios de impacto ambiental.

**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 maestría en Ciencias Biológicas en la Universidad de Texas en El Paso, Tx, donde después de seis meses fue transferido al programa de doctorado directo en Ciencias Biológicas/Patobiología. Actualmente cursa su segundo 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. Actualmente se encuentra estudiando la organización del citoesqueleto y su regulación por proteínas G heterotriméricas en diversos modelos celulares, y sus intereses incluyen las neurociencias, señalización celular y cáncer.

**ALEJANDRO MARTÍNEZ MARTÍNEZ.** Tiene una amplia trayectoria en bioquímica y neurociencias. En 1991 obtuvo la licenciatura en Biología en la Universidad de Guadalajara (UDG). Obtuvo el grado de Maestría en Neuroquímica en el Departamento de Química de la UNAM, en 1994. En 1997 culminó sus estudios de Doctorado en Biología en la Universidad de Murcia, España. Realizó varias estancias académicas de posgrado, entre las que destacan su postdoctorado en la Universidad de California en San Diego, con una beca de la fundación hispana PEW, culminando en el 2003. El mismo año, ingresó como profesor investigador de tiempo completo a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Cuenta con múltiples publicaciones y capítulos de libro, así como dirección individual de tesis de pregrado y de grado. Imparte cátedra de ingeniería genética en el programa de química y bioinformática en la Maestría en Ciencias con orientación en genómica (PNP).

**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).

# La leche de cabra y su importancia en la nutrición

## The goat milk and its importance on nutrition

MARÍA ANTONIA FLORES-CÓRDOVA<sup>2</sup>, RAMONA PÉREZ LEAL<sup>1,3</sup>, MOISÉS BASURTO-SOTELO<sup>1</sup>  
Y MARÍA DEL ROSARIO JURADO-GUERRA<sup>1</sup>

### Resumen

La leche de cabra y sus derivados son alimentos que han recibido en los últimos años atención mundial. Su producción ha ido en aumento de manera considerable en las últimas dos décadas, contribuyendo a mejorar la economía de productores e industriales y a incrementar el aporte nutrimental en los consumidores. En algunas regiones se consume en forma líquida aunque también se procesa obteniendo derivados, principalmente queso, además se produce dulce de leche o cajeta. Su composición difiere de la leche de vaca principalmente en el contenido de caseínas, lo cual propicia menor rendimiento en producción de queso y efectos sobre la textura del producto. Los contenidos mayores de ácidos grasos de cadena corta como butírico, caprónico, cáprico y caprílico le confieren un sabor diferente, haciéndolo mucho más digerible al ser humano y sobre todo para la dieta de los bebés.

**Palabras clave.** Leche de cabra, alimento, propiedades, atributos, composición, producción.

### Abstract

The goat milk and its derivatives, are food that in recent years have received world attention. Goat milk production has considerably increased in the last decades, contributing to improve both the economy of producers and the industries as well as to improve consumer's nutrition. In some regions goat milk is consumed in a liquid way, but also it is processed to get secondary products such as cheese and cajeta candies. The goat milk nutritional composition differs to that of the cow milk mainly in the caseins content resulting in a lower cheese yield and different texture. The higher content of the short chain fat acids such as butyric, caproic, capric and caprylic, give it a different taste and makes it much more digestible for human beings specially small children.

**Keywords:** Goat milk, food, properties, production, composition.

### Introducción

Desde el punto de vista tecnológico, la composición de la leche determina su calidad nutritiva, sus propiedades y su valor como materia prima para fabricar productos alimenticios. La leche de cabra posee los mejores valores nutricionales y terapéuticos; sólo la supera la leche materna humana con alta calidad nutricional y de sabor agradable; las propiedades terapéuticas de la leche de cabra se reconocen desde los inicios de la civilización, al mostrar poder contra los malestares gastrointestinales.

Los probióticos y otros productos elaborados con leche, superan con mucho sus equivalentes elaborados con leche de vaca (Solís y Castro, 2007). La leche de cabra como sustituto de la tradicional leche de vaca ha comenzado a merecer la atención de gobiernos

y entidades privadas; el interés radica en la potencialidad que tiene este producto de ser consumido por grupos que presentan intolerancia a los lácteos de origen bovino, alergias, diabetes y en la lactancia de recién nacidos. Por otro lado, se presenta como una

<sup>1</sup>Profesores de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Escorza No. 900, Zona Centro, Chihuahua, Chih. Tel. (614) 4-39-18-44

<sup>2</sup>Estudiante de posgrado de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua

<sup>3</sup>Dirección electrónica del autor de correspondencia: perezleal@hotmail.com

actividad de las economías regionales (Oliszewski *et al.*, 2002). Las propiedades nutritivas de la leche de cabra superan a las de la leche de vaca, por lo que el objetivo de este trabajo fue conocer las características, rendimiento y producción de leche de cabra, utilización, tipo y propiedades farmacológicas.

## Desarrollo

Se realizó una investigación documental en las principales fuentes bibliográficas, tomando en cuenta los avances tecnológicos con los que se cuenta actualmente, se obtuvo información de libros de diferentes partes del mundo, artículos científicos y revistas de interés en el área de investigación, se revisó cada uno de los ejemplares científicos, de todas las fuentes consultadas, dando como resultado la recopilación de los datos reportados en los puntos mencionados en esta revisión. Los temas en los que se hizo mayor énfasis fueron: composición de la leche de cabra, características, valor nutritivo, conservación, utilización, tipos de cuidados en las cabras, diferentes razas de cabra, cantidades de producción, y principales efectos farmacológicos de la leche de cabra.

Una vez obtenida toda la información de las fuentes antes mencionadas, se estructuró y se sistematizó en cuadros.

**Definición de la leche.** La leche es el producto integral proveniente de la ordeña total e ininterrumpida de una hembra lechera, sana, bien alimentada y no agotada, recogida de forma limpia y que no contenga calostros (Luquet, 1991a). La composición de la leche determina su calidad nutritiva, su valor como materia prima para fabricar productos alimenticios y muchas de sus propiedades (Haza, 1995).

**Composición.** Los principales componentes de la leche son: el agua, lípidos, carbohidratos, proteínas, sales y una gran lista de componentes misceláneos (Cuadro 1).

Cuadro1. Variaciones en la composición química de la leche de diferentes especies.

Especie	Nombre científico	COMPOSICIÓN g/100g						
		Agua	Grasa	Caseína	Proteínas séricas	Lactosa	Cenizas	Energía Kcal/100g
Humana	<i>Homo sapiens</i>	87.1	4.5	0.4	0.5	7.1	0.2	72
Vaca	<i>Bos taurus</i>	87.3	3.9	2.6	0.6	4.6	0.7	66
Oveja	<i>Ovis aries</i>	82	7.2	3.9	0.7	4.8	0.9	102
Cabra	<i>Capra hircus</i>	86.7	4.5	2.6	0.6	4.3	0.8	70

Fuente: Haza, 1995.

**Leche de cabra.** La leche de cabra es de un color blanco mate, debido a que no contiene  $\beta$ -caroteno; recién ordeñada tiene un olor neutro, con un sabor dulzón muy particular de esta leche, la viscosidad de la leche de cabra es más baja que la de vaca (Haza, 1995).

La leche de cabra presenta una grasa cuyo contenido en los llamados triglicéridos de cadena media (MCT), triglicéridos formados por ácidos grasos cuya cadena carbonada tiene entre 6 y 14 átomos de carbono, alcanzan normalmente, un porcentaje mayor del 30 %, a diferencia de la leche de vaca que no alcanza de estos compuestos más del 20 %.

Su bajo peso molecular e hidrosolubilidad, facilita la acción de las enzimas digestivas, haciendo que su hidrólisis sea más rápida y completa que la de los triglicéridos de cadena larga y, a diferencia de éstos, la digestión de los MCT comienza a producirse en el estómago, ya que la lipasa gástrica, prácticamente sin acción sobre los triglicéridos de cadena larga, inicia la hidrólisis de los MCT, la que será completada por la lipasa pancreática, a un ritmo cinco veces superior a la hidrólisis de los triglicéridos de cadena larga (Sanz *et al.*, 2003).

Con el consumo de leche de cabra, el organismo aumenta la absorción y la utilización del hierro y del cobre, gracias a los altos contenidos de triglicéridos de cadena media y a los aminoácidos cistina y lisina. Los altos niveles de hierro en esta leche, son de mayor viabilidad en las anemias que cuando el consumo es de leche de vaca. Los niños que



se alimentan con leche de cabra alcanzan mayor peso, mayor estatura, más mineralización de los huesos, y en plasma sanguíneo, mayor densidad de las vitaminas A, tiamina, riboflavina y niacina, así como del calcio y de la hemoglobina. En resumen, esta leche contiene la mayoría de las vitaminas y de los minerales que requiere el desarrollo de los niños (Solís y Castro, 2007).

**Proteínas de leche de cabra.** Uno de los componentes de la leche de cualquier especie más importante desde un punto de vista nutritivo, son las proteínas. Dado que el interés de la leche de los pequeños rumiantes, radica esencialmente, en que constituye una leche industrial, que se deriva en su mayor parte a la industria de transformación, especialmente para la fabricación de queso; las proteínas más interesantes resultan ser las caseínas, proteínas coagulables que determinan el rendimiento de fabricación indicado y, por tanto, la calidad tecnológica de la leche en cuestión. Por caseínas se entiende a un grupo de proteínas de la leche, caracterizado por presentar uniones ester-fosfato, un alto contenido en prolina y bajo en cisteína. Las proteínas que permanecen en solución a pH=4-6, son las del lactosuero, formadas por  $\alpha$ -lactoalbúmina,  $\beta$ -lactoglobulina, inmunoglobulina, péptidos y otras proteínas menores, algunas con carácter enzimático.

Como en la leche de vaca, en la de los pequeños rumiantes, se encuentran las caseínas  $\alpha$ S1,  $\alpha$ S2, b y k. Estas diferentes caseínas lo son en razón de su composición, caracterizándose en la vaca, la  $\alpha$ S1,y b-caseína, por presentar altos contenidos en prolina, mientras que la k-caseína se diferencia de las anteriores en razón de las uniones con carbohidratos, junto a numerosos puentes disulfuro (Cuadro 2) (Sanz *et al.*, 2003)

**Minerales.** Están presentes fundamentalmente en la leche de cabra el sodio, potasio, calcio, magnesio, fósforo y

cloro. El calcio, fósforo, potasio y cloro son más abundantes en la leche de cabra que en la de vaca. En general, la concentración de elementos minerales decrece durante las siete primeras semanas de lactancia. Elementos traza como el hierro, cobre, zinc, y manganeso se encuentran en proporciones semejantes en la leche de cabra y vaca. Además, la leche de cabra contiene menos ácido N-acetilneuramínico, ácido orótico, folato y vitaminas B<sub>2</sub> y B<sub>12</sub> que la leche de vaca (Zapico-Landrove, 1993).

**Cuadro 2.** Tabla Nutricional Comparativa en 100 ml.

Elemento	Materna	Vaca	Cabra
Proteína g	1.1	3.4	4.3
Grasa g	4.2	3.3	5.4
Lactosa g	7.1	4.6	4.2
Minerales g	0.21	0.72	0.77
Vit A I.U.	190	158	191
Vit D I.U.	1.4	2.0	2.3
Tiamina	0.02	0.04	0.05
Riboflabina mg	0.04	0.18	0.12
Biotina mcg	0.4	2.0	1.5

(Miceli, *et al.*, 2007)

**Conservación de la leche.** Para conservar la leche cruda, se ha usado el peróxido de hidrógeno, en cantidades de 300-500 ppm; sin embargo, el manejo del peróxido de hidrógeno requiere grandes precauciones, ya que es un agente oxidante potente. Se ha comprobado que afecta, en esas cantidades, a ciertas propiedades de la leche y que altera el sabor y la textura del queso, con pérdidas en el valor nutritivo de las proteínas (Zapico-Landrove, 1993). Posteriormente, se demostró que pequeñas concentraciones de peróxido de hidrógeno activaban el sistema lactoperoxidasa, dando lugar a un efecto antibacteriano si se añadía una cantidad equivalente de tiocianato. Se estableció que 15

ppm de tiocianato eran suficientes para mejorar la calidad microbiológica de la leche cruda durante su almacenamiento (Zapico-Landrove, 1993).

*Elaboración de quesos.* En los últimos años, se ha incrementado la producción de quesos elaborados a partir de leche de cabra, proceso que ha adquirido a escala artesanal gran importancia regional.

Las variedades de queso de cabra de pasta prensada y cocida, se han introducido como variantes regionales como una manera de obtener un producto que pueda incrementar el tiempo de comercialización con relación a los de pasta blanda (Morgan y Gabori, 2001).

*Producción.* Durante los últimos años, ha ocurrido un fuerte incremento en la producción y comercialización de leche caprina y sus productos derivados, unido a un aumento en las exigencias y controles de calidad (Marín *et al.*, 2001).

La producción mundial de leche de cabra representaba el 2.1 % del total de todos los tipos de leche producida en el mundo en el año 2000; se calculó que dicha producción fue de 12,500,000 ton (Thomas y Haenlein, 2004). La producción de leche de cabra está aumentando a un ritmo ligeramente más alto que al que crece la población mundial (1.8 % vs 1.4 %) (Romero, 2004).

En el 2002, México aportó aproximadamente el 1.2 por ciento del total de la producción mundial de leche de cabra con 131,200 toneladas métricas, ocupando el lugar 17 del mundo. Para el año de 2003 la FAO estimó una producción en México de 148,000 toneladas métricas manteniéndose constante en los últimos diez años (Vega *et al.*, 2005).

El promedio de producción de leche por lactancia de todas las cabras que se ordeñan en el establecimiento es por lo general, superior a los 600 litros de leche y el porcentaje de cabritos destetados frente a las hembras apareadas supera frecuentemente el 150 % anual (Arbiza, 1996).

*Alimentación.* Ningún aspecto de la cría de cabras es más importante que la alimentación. El forraje puede ser verde, de plantas crecidas, alfalfa o trébol acicalado, paja de carbonáceas, maíz quebrado, silo consuelda, girasol, tallos de alcachofa y hojas de árbol, corteza y ramas pequeñas y raíces como betabel, alcachofas, zanahorias y nabos.

Los forrajes verdes son ricos en la mayoría de las vitaminas, excepto la B y la D, pero si el animal se encuentra pastando, está recibiendo los rayos del sol y así la vitamina D, y los rumiantes pueden sintetizar la B. El pasto de crecimiento rápido es también rico en proteína (Belanger, 1992).

*Cuidado.* Las cabras requieren un mínimo de cuidado y una de las más importantes es el corte de las pezuñas. La capa externa del tejido córneo de las pezuñas de las cabras crece en forma similar a las uñas del hombre y debe ser cortada periódicamente. La negligencia ocasionará volver coja a la cabra. La periodicidad del corte depende de varios factores. Algunas pezuñas crecen más rápido que otras, o existen diferencias entre los animales (Belanger, 1992).

*Ciclo de producción y técnicas de cría.* El ciclo sexual de las cabras está ligado al fotoperiodo, es decir, a las horas de luz de cada día. Los acoplamientos se escalonan debido a que la duración de la luz del día va disminuyendo, lo que ocurre especialmente entre julio y noviembre. Tras cinco meses de gestación, las cabras paren usualmente de diciembre a marzo. A partir de los resultados de control lechero, se puede deducir que el 83 % de las cabras paren durante estos cuatro meses, alcanzándose el máximo en enero y febrero (Luquet, 1991b).

*Razas caprinas productoras de leche.* Las razas caprinas para la producción de leche se encuentran distribuidas por el mundo entero, excepto en las regiones árticas. Las formas de clasificación de los caprinos son múltiples y variadas, pero quizás la más completa sea según su productividad. Para poder distinguir

las razas es importante fijarse en características físicas como el color del pelaje, cara, extremidades, el tamaño e inclinación de las orejas y la presencia o ausencia de cuernos (Rodríguez y Valencia, 2006).

*Alpina Francesa.* Son animales lecheros con alta rusticidad y adaptabilidad que presentan orejas cortas y erectas. Se puede utilizar esta raza también para la producción de carne. Los machos alcanzan un peso de hasta 100 kg, y las hembras de hasta 70 kg.

Considerada la mejor raza caprina lechera a nivel mundial, su lugar de origen es el Valle de Saanen y Simental, en Suiza. Son excelentes productoras de leche, capaces de producir de 800 a 900 kg de leche por lactancia con un 3.6 % de grasa. Es de tamaño corporal mediano, llegando a pesar de 80 a 120 kg los machos y de 50 a 90 kg las hembras. Su pelaje de color blanco o crema es corto y fino. Es una raza pacífica y tranquila pero sensible al exceso de radiación solar.

*La Mancha.* Se trata de raza caprina desarrollada en el Estado de Oregon, USA. Presenta excelente temperamento lechero y una producción láctea con un alto contenido de grasa. Se caracteriza por pelo corto y fino y no tienen una combinación de color definido. El tamaño reducido de las orejas es su característica típica más sobresaliente.

*Anglo-Nubian.* En su forma moderna, esta raza se originó en Inglaterra; su ascendencia es de lugares como Egipto, India, Abisinia y Nubia. Es una raza de doble propósito (carne y leche) y una de las más grandes y pesadas. Los machos llegan a pesar 140 kg, es de carácter dócil, apacible, tranquilo y familiar, se adapta bien a condiciones calurosas y es muy usada en regiones tropicales. Su característica física más sobresaliente son las orejas largas y pendulares.

*Toggenberg.* De origen suizo, representa la raza inscrita más antigua del mundo, es de tamaño medio (55 kg), rústica, vigorosa, de apariencia alerta y temperamento amable y quieto. El pelaje es corto, suave, fino y lacio, el

color del cuerpo es variable, pero posee orejas blancas características (Rodríguez y Valencia, 2006).

*La leche caprina como alimento.* La leche de cabra tiene una mayor proporción de los llamados ácidos grasos de cadenas cortas (ácidos cáprico, caprónico y caprílico) que la de vaca, lo que la hace mucho más digestible para el bebé y le comunica un sabor particular. Esta alta proporción de grasa de cadenas cortas se está estudiando con intensidad en varios centros de investigación del mundo, se usan para el tratamiento de gran cantidad de pacientes con mala absorción nutricional, que sufren de quiluria, esteatorrea, hiperlipoproteinemia y en casos intestinales, problemas coronarios, como alimentación de bebés prematuros, niños con epilepsia, cistitis fibrosa y cálculo biliar (Arbiza, 1996).

La fórmula infantil de leche de cabra es desconocida en muchos países, pero su uso en países como Nueva Zelanda, Australia y Taiwán lleva más de 10 años, en Nueva Zelanda y Australia, esta fórmula está disponible a un precio similar a la fórmula de soya, ambas del 20 al 50 % más caras que la de vaca, en Nueva Zelanda, el uso de la fórmula de leche de cabra supera a la de soya y constituye el 5 % de la compra total de fórmulas para infantes (Grant *et al.*, 2005).

El valor de la leche de cabra en la alimentación de los niños en varios países, deriva de sus altos contenidos de los aminoácidos esenciales, lisina, metionina, valina, leucina, isoleucina, treonina, fenilamina y triptófano, que el organismo humano no produce (Solís y Castro, 2007).

Las principales inmunoglobulinas (Ig) de la leche de cabra son la Ig G, la Ig M y la Ig A, cuyas concentraciones respectivas son 100, 30-80 y 10 miligramos por 100 mililitros. La Ig A constituye anticuerpos secretores que se desempeñan contra un gran número de bacterias del tracto digestivo como *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Shigelia* o del tracto respiratorio como *Haemophilus influenzae* y

*Klebsiella pneumonia* y virus del tipo de Cytomegalovirus, poliovirus, ERS, rotavirus y parásitos como *Giardia lamblia* y *Entamoeba histolyca*. La relación Ig A/Ig G es una secreción de anticuerpos que previene y ataca los microorganismos patógenos en el intestino para impedir su ataque en otros tejidos (Solís y Castro, 2007).

Esta leche contiene linfocitos B que producen anticuerpos destructores de microorganismos nocivos, macrófagos o células inmunes con capacidad para destruir los microbios que ingieren los niños cuando se carece de la higiene necesaria, y lisosomas que son enzimas para activar la digestión o para activar otros compuestos del sistema inmunitario (Solís y Castro, 2007).

**Probióticos.** Los productos lácteos de la cabra tales como yogurt, son cada vez más populares en los Estados Unidos. como los productos de la especialidad y como sustitutos para los productos lácteos. El yogurt elaborado con leche de cabra es de los alimentos procesados con mayor propiedad nutritiva para reforzar el arma invisible que determinan las bacterias benéficas de dicho tracto, con el fin de restaurar el equilibrio microbiológico. Entre los probióticos está el *Lactobacillus acidophilus*, bacteria ácido-láctica muy necesaria en el tracto; produce enzimas como la proteasa, la lipasa y la lactasa que respectivamente digieren las proteínas, las grasas y la lactosa (Farnsworth *et al.*, 2003).

**Propiedades antialérgicas.** Los niños que son alérgicos a la leche de vaca son sensibles a las proteínas del suero de la leche o a la fracción de caseína. Las alergias de la leche de cabra no se relacionan casi nunca con las de vaca y sólo unos pocos casos han sido reportados en literatura. La leche de cabra tiene propiedades antialérgicas o hipoalérgicas en virtud de sus betalactoglobulina y de S-1 caseína, y por eso evita las reacciones alérgicas en la mayoría de los niños que la consumen (Ah-Leng *et al.*, 2006).

**Otras propiedades y atributos.** Además de su excelente valor nutritivo, la leche de cabra tiene otras propiedades que la convierten en un ingrediente ideal en la elaboración de cosméticos. Debido a sus propiedades físico-químicas, la leche de cabra es ampliamente utilizada como materia prima para la elaboración de cosméticos (jabones y cremas humectantes). La forma física en que se encuentran los glóbulos grasos (agrupaciones de glóbulos de grasa con proteínas), que están naturalmente homogenizados en el fluido lácteo, la convierte en un ingrediente ideal para la elaboración de jabones y cremas. En la piel los cosméticos que contienen leche de cabra como ingrediente, actúan de forma diferente que productos que no la contienen. Las lipoproteínas ayudan al paso de nutrientes y agua a través de la membrana de las células epiteliales, posibilitando su entrada a las células de la piel. Por esta razón la piel queda tan suave después de usar los cosméticos de leche de cabra, comparada con el uso de productos convencionales. La leche de cabra presente en los cosméticos, actúa de varias formas gracias a su composición química única. Estas virtudes la hacen indicada para uso en pieles dañadas y alérgicas (Rodríguez y Valencia, 2006).

## Conclusiones


La leche de estos pequeños rumiantes, presenta una alta calidad, desde un punto de vista nutritivo para la salud, e incluso como cosmético, resultando en diferentes aspectos, superior a la leche de vaca.

Las cabras son de fácil crianza y sus costos de producción son extremadamente bajos. Esta actividad pecuaria se debería fomentar en todo el mundo y su difusión, llevaría a aumentar el bienestar de la salud, así como la prevención de algunas enfermedades.

## Literatura citada

Ah-leung S., Bernard H., Bidat E., Paty E., Rancé F., Scheinmann P., Wal J.M. 2006. Allergy to goat and sheep milk without allergy to cow's milk. Journal compilation DOI: 10 1111/ 1398-9995.



- ARBIZA A. S. 1996. La leche de cabra. Sus propiedades nutritivas y farmacológicas. Correo del Maestro Núm. 3 pp 1-5.
- BELANGER J. 1992. Cría moderna de cabras lecheras. Editorial continental S.A., México, pp 7-169.
- FARNSWORTH J. P., J. Li, M. R. Guo. 2003. Improved structure and consistency of probiotic goat's milk yogurt. *Australian Journal of Dairy Technology*. Vol. 58, Iss 2; pg. 187.
- GRANT C., B., Rotherham, S. Sharpe, R. Scragg, J. Thompson, J. Andrews, C. Wall, J. Murphy y D. Lowry. 2005. Randomized, double-blind comparison of growth in infants receiving goat milk formula cow milk infant formula. *J. Pediatr. Child Health* 41,564-568.
- HAZA DUASO A. I. 1995. Obtención de anticuerpos monoclonales frente a las caseína de la leche de cabra y su utilización en la diferenciación de mezclas lácteas y quesos, Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Veterinaria, Madrid, pp. 6-10.
- LUQUET F. M. 1991a. La leche de la mama a la lechería. I Editorial Acribia, S. A. España. pp 314-380.
- LUQUET F. M. 1991b. Leches y productos lácteos. II Editorial Acribia, S. A. España, pp. 250- 286.
- MARÍN M. P., J. Burrows y J. C. Ramos. 2001. Producción y Calidad de leche caprina en rebaños bajo sistemas de manejo extensivo de la zona central de Chile. *Arch. Zootec.* Vol. 50: 363-366.
- MORGAN F., P. GABORIT. 2001. The typical flavour of goat milk products: technological aspects. *International Journal of Dairy Technology* Vol 54, No. 1, pp 38.
- OLISZEWSKI R., A. Rabasa, J. Fernández, M. Poli y M. Núñez. 2002. Composición química y rendimiento quesero de la leche de cabra Criolla Serrana del noroeste argentino. *Zootecnia Trop.*, 20(2):179-189.
- SOLÍS R. J., R. A. Castro. 2007. La leche de cabra en la nutrición y en la terapéutica. Universidad de Chapingo 1 No. 4 22-47.
- THOMAS, D. y G. Haenlein. 2004. «Panoram of the goat and sheep dairy sectors in North America», en: The future of the sheep and goat dairy sectors. International Dairy Federation, Zaragoza, Spain. pp. 28 –30.
- RODRÍGUEZ C. A., Ch. E. Valencia. 2006. La leche de caprina, otras propiedades y atributos. Departamento de Agricultura. Vol. 2 No. 1 pág. 4.
- ROMERO, J. 2004. «Programa de investigación e innovación tecnológica de la cadena alimentaria de carne y leche de caprinos». INIFAP
- SANZ S. M. J. R. Fernández, G. De la Torre, E. Ramos, F. D. Carmona, J. Boza. 2003. Calidad de la leche de los pequeños rumiantes. *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias*. Vol:16 Pág. 1-33.
- VEGA S., T. R. Gutiérrez, G. G. Díaz, L. M. González, A. A. Ramírez, M. J. Salas, H. M. Coronado, C. C. González. 2005. Leche de cabra: producción, composición y aptitud industrial. Alfa editores técnicos. pp.1-10.
- ZAPICO-LANDROVE P. 1993. El sistema Lactoperoxidasa en Leche de cabra. Aplicación a la mejora de su calidad microbiológica. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas, Madrid, pp. 1-33. 

Este artículo es citado así:

Flores-Córdova M.A., R. Pérez-Leal, M. Basurto-Sotelo y M. R. Jurado-Guerra. 2009: *La Leche de cabra y su importancia en la nutrición. TECNOCENCIA Chihuahua* 3(2): 107-113.

## Resúmenes curriculares de autor y coautores

**MARÍA ANTONIA FLORES CÓRDOVA.** Originaria de la ciudad de Chihuahua, Chih., terminó su licenciatura en 2006, obteniendo el título de Licenciado en Administración Agrotecnológicas en junio del 2007 por la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), institución en la cual cursó su posgrado, obteniendo el grado de Maestro en Ciencias de la Productividad Frutícola, en el área de fisiología vegetal sub área productos naturales en 2009. Ha sido docente de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas desde 2007. Es autora de 3 artículos.

**RAMONA PÉREZ LEAL.** La doctora Pérez Leal cursó la licenciatura en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa, obteniendo el título de Licenciado Químico Farmacéutico Biólogo en junio de 1995. Obtuvo la maestría y el doctorado en el Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnía en la Universidad Autónoma Chapingo con orientación en Fitoquímica en Junio del 2004. Labora en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas como catedrático de tiempo completo desde 2008, desarrollando actividades de docencia e investigación, pertenece al cuerpo académico CA-11 Frutales de Zona Templada con área de especialización en fitoquímica de frutales de zona templada y recursos genéticos propios del estado de Chihuahua.

**MOISÉS BASURTO SOTELO.** El doctor Basurto, cursó la licenciatura en la Facultad de Fruticultura, hoy Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, obteniendo el título de Ingeniero Fruticultor en diciembre de 1984. La Facultad de Ciencias Agrotecnológicas le otorga el grado de Maestro en Ciencias de la Productividad Frutícola en 1995. En diciembre de 2005 obtuvo el grado de Doctor en Filosofía, en la especialidad de Recursos Naturales, por la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Labora en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas como catedrático de tiempo completo desde 1984, desarrollando actividades de docencia, investigación, administrativa y de divulgación, entre otras, pertenece al cuerpo académico CA-11 Frutales de Zona Templada con área de especialización en cultivo de nogal, hortalizas y productos naturales.

**MARÍA DEL ROSARIO JURADO GUERRA.** Cursó la carrera de Licenciado en Relaciones Comerciales en el Instituto Tecnológico de Chihuahua, obteniendo el título el 10 de septiembre de 1996. En junio de 1996, se incorpora como catedrática en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua apoyando las áreas de economía y mercadotecnia. Pasante de la Maestría en Administración de Sistemas Estratégicos por el Colegio Nueva Vizcaya, de la ciudad de Chihuahua, Chih. Como docente en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la UACH, apoya las actividades de investigación, divulgación y en el área administrativa; desde el año 2000 a la fecha, coordina el programa educativo de Licenciado en Administración Agrotecnológica de la misma institución.



## MISIÓN

Apoyar a los participantes de las cadenas agroindustriales en la innovación tecnológica para su desarrollo sustentable

La fundación PRODUCE promueve y apoya proyectos de investigación, validación y de transferencia de tecnología que contribuyan a entender los problemas, necesidades y oportunidades en materia agrícola, ganadera y forestal.

Para mayor información consulte nuestro sitio Web:  
<http://www.producechihuahua.org>



# TECNOCIENCIA Chihuahua

Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades

La Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado, convoca a docentes, investigadores y estudiantes a publicar sus escritos científicos en **TECNOCIENCIA Chihuahua**

## CARACTERÍSTICAS

### Propósitos

Divulgar avances científicos y tecnológicos

### A quién se dirige

Académicos, científicos, tecnólogos, profesionistas, estudiantes y empresarios

### Periodicidad

Cuatrimestral

### Fuentes de financiamiento

Presupuesto de la UACH, donativos, suscripciones y publicidad

### Circulación

Nacional e internacional

### Oficinas de la revista

Dirección de Investigación y Posgrado

### Página Web

<http://tecnociencia.uach.mx>

## SECCIONES

- El científico frente a la sociedad
- Artículos científicos por áreas del conocimiento:
  - Alimentos
  - Salud y Deporte
  - Ingeniería y Tecnología
  - Educación y Humanidades
  - Economía y Administración
  - Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable
- Creatividad y desarrollo tecnológico

## TRABAJOS ARBITRADOS:

- Artículo Extenso
- Nota Científica
- Ensayo Científico
- Revisión Bibliográfica

Si desea publicar un artículo, vea la "Guía para autores" en la página web: <http://tecnociencia.uach.mx>

Información para publicación o suscripción, al correo: [tecnociencia.chihuahua@uach.mx](mailto:tecnociencia.chihuahua@uach.mx), o al Tel: (614) 439-1822 Ext. 2213



latindex  
PERIODICA





Vista aérea de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Fotografía por Gabriel Piñón.