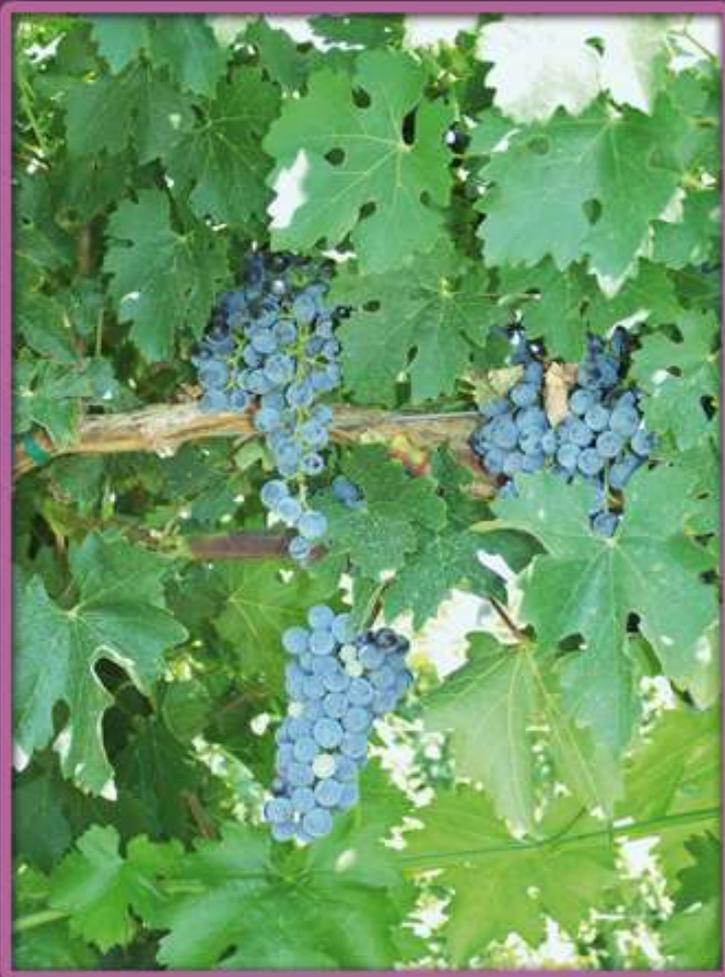


TECNOLOGÍA Y CIENCIA Chihuahua

Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades
Universidad Autónoma de Chihuahua



Aspectos a considerar por los viticultores de Chihuahua en la nutrición de vid para vino



Desempeños profesionales percibidos en el egresado para su inserción en el campo laboral: caso UASLP-UAMZM



Incidencia de estrés calórico y su impacto en la fertilidad en un establo lechero



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

M.C. JESÚS ENRIQUE SEÁÑEZ SÁENZ
Rector

M.D. SAÚL ARNULFO MARTÍNEZ CAMPOS
Secretario General

LIC. SERGIO REAZA ESCÁRCEGA
Director de Extensión y Difusión Cultural

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

DR. ALEJANDRO CHÁVEZ GUERRERO
Director Académico

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

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

TECNOCENCIA
Chihuahua

Comité Editorial Interno

DR. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA
Editor en Jefe

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

M.E.S. NANCY KARINA VENEGAS HERNÁNDEZ
Asistente editorial - Abstracts

Editores Asociados

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

DR. CARMELO PINEDO ÁLVAREZ
DR. JAVIER TARANGO ORTIZ

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

Consejo Editorial Internacional

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

DR. VÍCTOR ARTURO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ
Colegio de Posgraduados, México

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

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

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

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

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

DR. LUIS RAÚL TOVAR GÁLVEZ
Instituto Politécnico Nacional, México

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

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

DRA. ANGELA BEESLEY
University of Manchester, Reino Unido

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

DR. RICARD GARCÍA VALLS
Universitat Rovira I Virgili, España

DR. LUIZ CLOVIS BELARMINO
Faculdade Atlantico Sul, Brasil

Contenido

Definición de la revista I

Editorial II

El científico frente a la sociedad

Aspectos a considerar por los viticultores de Chihuahua en la nutrición de vid para vino

Dámaris Leopoldina Ojeda-Barríos
Aída Rodríguez-Andujo
Gustavo Rogelio López-Ochoa
Arwell Nathán Leyva-Chávez
Silvia Amanda García-Muñoz

77

Alimentos

Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo

Alma A. Vázquez-Flores
Emilio Alvarez-Parrilla
José Alberto López-Díaz
Abraham Wall-Medrano
Laura A. de la Rosa

84

Incidencia de estrés calórico y su impacto en la fertilidad en un establo lechero

Javier Antillón-Ruiz
Moisés Barceló-Fimbres
Alfredo Anchondo-Garay
Felipe Alonso Rodríguez-Almeida

94

Salud

El plaguicida glifosato incrementa la V_{max} de la Ca^{2+} -ATPasa de membrana plasmática de eritrocito humano sin afectar su afinidad (K_m) por el sustrato

Manuel Arellano-Carrillo
Javier Vargas-Medrano
Jorge A. Sierra-Fonseca
Fernando Plenge-Tellechea

101

Fosfatasa alcalina (E.C.3.1.3.1): bioquímica y aplicaciones en las ciencias biomédicas, ecológicas y alimentarias

Gilberto Mercado-Mercado
Norma L. Duarte-Muñoz
Emilio Álvarez-Parrilla
Laura A. de la Rosa
Abraham Wall-Medrano

112

Educación y Humanidades

Desempeños profesionales percibidos en el egresado para su inserción en el campo laboral: caso UASLP-UAMZM

David Gómez-Sánchez
Brisaida Yarit Amador-Guillén
Héctor López-Gama
Ramón Gerardo Recio-Reyes

123

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 incluida en los siguientes índices y directorios:

- 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

El cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.) representa una alternativa para el desarrollo económico y social en las regiones agrícolas del estado de Chihuahua donde se han establecido viñedos. El potencial de rendimiento, adaptabilidad y calidad de los vinos producidos depende mucho de la generación y aplicación de paquetes tecnológicos, como lo señalan los autores del artículo: "*Aspectos a considerar por los viticultores de Chihuahua en la nutrición de vid para vino*"; especialmente, resaltan la importancia de investigar los requerimientos de nutrientes para los cultivares de la región.

En investigaciones recientes, el tema de los taninos hidrolizables y condensados ha suscitado debates polémicos; este tema se aborda en un artículo publicado en el presente fascículo, donde se discute la naturaleza química, ventajas y desventajas del consumo de taninos, así como sus beneficios sobre la salud humana.

El uso de plaguicidas es una práctica común para la reducción de vectores asociados a la transmisión de enfermedades, y controlar las plagas que provocan daños severos a los cultivos. Los autores del artículo: "*El plaguicida glifosato incrementa la V_{max} de la Ca^{2+} -ATPasa de membrana plasmática de eritrocito humano sin afectar su afinidad (K_m) por el substrato*", observaron que el insecticida glifosato mostró un doble efecto; por un lado, estimulante, y también inhibitorio, sobre la actividad de la ATPasa de la membrana en eritrocitos humanos.

En este fascículo se publica el interesante artículo: "*Fosfatasa alcalina (E.C.3.1.1.3.1): bioquímica y aplicaciones en las ciencias biomédicas, ecológicas y alimentarias*". De acuerdo con los autores, estas enzimas y/o coenzimas identificadas como marcadores se utilizan comúnmente en los

campos de la Genética, Ciencias Ambientales y Ciencias de los Alimentos; además, los expertos la han reconocido como una valiosa técnica de análisis inmunoenzimático. Resulta por demás interesante el tema: "*Incidencia de estrés calórico y su impacto en la fertilidad en un establo lechero*", donde los investigadores analizaron registros de inseminación artificial y los porcentajes de preñez, asociándolos a una serie de variables incluyendo observaciones durante un periodo de 13 meses. En una de las conclusiones del estudio, es señalado que el estrés calórico en la estación cálida correlacionó negativamente con el porcentaje de preñez.

Finalmente, hemos publicado el artículo: "*Desempeños profesionales percibidos en el egresado para su inserción en el campo laboral: caso UASLP-UAMZM*", estudio donde se resalta jerárquicamente la importancia de los valores, seguido de las capacidades, actitudes, habilidades, conocimiento y relaciones interpersonales, como las características asociadas a la competencia de los egresados en el ejercicio de su profesión.

PH. D. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA
EDITOR EN JEFE

Aspectos a considerar por los viticultores de Chihuahua en la nutrición de vid para vino

Aspects to consider by winegrowers of Chihuahua in the nutrition of wine grapevine

DÁMARIS LEOPOLDINA OJEDA-BARRIOS^{1,2}, AIDA RODRÍGUEZ-ANDUJO¹, GUSTAVO ROGELIO LÓPEZ-OCHOA¹, ARWELL NATHÁN LEYVA-CHÁVEZ¹ Y SILVIA AMANDA GARCÍA-MUÑOZ¹

Resumen

El cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.) es uno de los más antiguos en la historia del hombre. Se cree que esta planta es originaria de una zona situada entre el Mar Caspio y el Mar Negro. Los antiguos métodos de cultivo de la vid están siendo remplazados por técnicas más modernas que consisten principalmente en sistemas de riego y fertilización que permiten un cultivo más controlado. La nutrición y la fertilización de la vid tienen una importancia esencial en el cultivo moderno de la viña. Lograr buenos rendimientos y calidad del fruto depende en gran medida de la nutrición del cultivo. El requerimiento de nutrientes por los diferentes órganos de la planta durante cada periodo del ciclo de crecimiento, es muy importante para establecer programas de fertilización. Los análisis de suelo disponibles y comportamiento varietal a diferentes condiciones de nutrición permitirán poco a poco ajustar las recomendaciones. Así mismo, se sugiere la realización de análisis foliares para evaluar los niveles de suficiencia para las condiciones ambientales de cada cultivo. El presente escrito pone de manifiesto la importancia de la adecuada nutrición y fertilización del cultivo de la vid con el propósito de producir vinos de calidad en Chihuahua. Las recomendaciones formuladas deben ser tomadas como genéricas, hasta disponer de suficiente información para brindar recomendaciones definitivas, ya que las condiciones climáticas, varietales y de suelo son diferentes en las regiones donde se cultiva este frutal.

Palabras clave: *Vitis vinifera*, contenido nutricional, muestreo foliar, fertilización.

Abstract

The growing of grapevine (*Vitis vinifera* L.) is one of the oldest in human history. It is believed that this plant is native to an area between the Caspian and the Black Sea. Currently, the old methods of growing grapevines are being replaced by modern techniques that mainly consist of irrigation and fertilization systems which allow a more controlled cultivation. Nutrition and fertilization of grapevines are of essential importance in the modern farming of vineyards. The knowledge of the requirements of different plant organs during each growing cycle, in order to obtain good yields and fruit quality, depend heavily on crop nutrition. The available soil analysis and varietal behavior at different nutritional conditions allow slowly adjust the recommendations. Likewise, it is suggested the realization of foliar analysis for assessing the levels of sufficiency for the environmental conditions of each crop. This paper highlights the importance of adequate nutrition and fertilization regarding grapevine cultivation for producing quality wines in Chihuahua. Until having adequate information to provide definitive recommendations, the formulated suggestions should be considered as generic due to the climatic conditions and soil varieties are different in the regions where this fruit grows.

Keywords: *Vitis vinifera*, nutritional content, foliar sampling, fertilization.

¹ Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Ciudad Universitaria s/n. Chihuahua, Chih., México C.P. 31310. Tel. (614) 439-1844.

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: dojeda@uach.mx.

Introducción

Como alternativa para elevar la competitividad en el sector frutícola en el estado de Chihuahua, se han realizado inversiones importantes por parte de un grupo de productores con el fin de detonar el cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.). En el año 2010 se agruparon varios empresarios chihuahuenses con la finalidad de establecer viñedos y además producir vino de mesa, los cuales han invertido recursos y tecnología en la plantación de 32 viñedos que se ubican en los municipios de Delicias, Satevó, Cuauhtémoc, Casas Grandes, Bachíniva, Sacramento, Guerrero, Namiquipa, Sueco, Rosales, Flores Magón y López, quienes trabajan con ocho variedades de vid y seis porta injertos.

Este esfuerzo de los productores se lleva a cabo con el apoyo de la Fundación Produce Chihuahua y la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Por otro lado, ya se han tenido producciones y vinificaciones en los municipios de Chihuahua, Delicias, Bachíniva y Urique. El desarrollo de la viticultura es una actividad promisoriosa, dados los resultados en el desarrollo de parcelas, la vinificación ya realizada inicialmente y, sobre todo, las condiciones climáticas favorables. Este cultivo en otras regiones del mundo tiene impactos económicos muy importantes, impulsando también actividades como el turismo y la imagen de la región.

El rendimiento y la calidad del fruto dependen mucho de la nutrición del cultivo de la vid. Las recomendaciones formuladas deben ser tomadas como genéricas, ya que las regiones donde se han realizado investigaciones difieren en condiciones climáticas, varietales y de suelo. Se exponen las posibles sugerencias de uso, hasta disponer de suficiente información como para brindar recomendaciones definitivas (Delgado *et al.*, 2004).

El conocimiento de los requerimientos de los diferentes órganos de la planta durante cada periodo del ciclo de crecimiento es fundamental en un plan de nutrición en vid (*Vitis vinifera* L.) (García *et al.*, 1999). Los análisis de suelo disponibles y comportamiento varietal a diferentes condiciones de nutrición permitirán poco a poco ajustar las recomendaciones. Así mismo, es aconsejable la realización de análisis foliares para evaluar los niveles de suficiencia para las condiciones ambientales de cada cultivar (García *et al.*, 2001).

Fertilización

La productividad de un suelo está relacionada con la disponibilidad de los nutrientes que contenga. Cuando el suelo no tiene los nutrientes en las cantidades y formas biodisponibles, es necesario aportarlos. De acuerdo con este planteamiento, la práctica de la fertilización consiste en adicionar los nutrientes necesarios para que la planta exprese su potencial productivo (Bertamini y Nadunchezian, 2005). En las plantas de vid, la fertilización es una de las prácticas más importantes del año, y es integrada al manejo general de los viñedos; se considera que los costos derivados por la fertilización corresponden al 26% del costo total de la producción anual (Chen *et al.*, 2004).

De una manera explícita, en la práctica de la fertilización deberán tomarse en cuenta la fuente del fertilizante, tiempo de aplicación, frecuencia de las aplicaciones y métodos de aplicación. Aunado a estos factores, una estrategia de manejo apropiado incluye tomar en cuenta el pH de suelo (ácido, neutro o alcalino), la textura del suelo (fina, media), composición química del suelo (por ejemplo, cantidades de diferentes elementos en el suelo, capacidad de intercambio catiónico), atmósfera del suelo (aeróbica o anaeróbica), microflora del suelo (tipo y abundancia de microorganismos), tipo y costo de la fuente de fertilizante a utilizar (urea, nitrato de amonio, sulfato de amonio, amoniaco y otros), tipo de cultivar (con alta alternancia o moderada alternancia), humedad del suelo (saturado, húmedo, seco), movimiento del agua a través del perfil del suelo, cubiertas en los huertos (cultivos limpios, pastos o leguminosas), cantidad y método de irrigación (inundación, goteo o aspersión), edad fisiológica de los árboles (jóvenes, intermedios o viejos), nivel del

nutriente en los árboles (bajo, moderado, alto), periodos de demanda (brotación, floración, cuajado, envare y poscosecha), temperatura del aire (frío, moderado, caliente) y la localización de las raíces en el perfil del suelo (superficiales, medias o profundas). La aplicación de cualquiera de los 14 elementos esenciales (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mn, B, Mo, Cl y Ni) es justificada si son requeridos por la planta (Conradie, 2001a).

La fertilización de la uva supone una delicada operación agronómica cuyos efectos son decisivos para la calidad de las uvas y el vino. El programa de fertilización debe hacerse teniendo en cuenta las necesidades del cultivo y los nutrientes que aporta el suelo (Conradie, 2001b).

En la fertilización de cultivos como la uva debe mantenerse el equilibrio de los nutrientes del suelo: un exceso incrementa el vigor de la planta en detrimento de la calidad de la uva, mientras que una deficiencia disminuye la producción y limita la calidad del vino (Conradie, 1991).

Los aportes de nitrógeno deberían por tanto ser limitados; unas 30-50 unidades por año son suficientes en el caso de uvas muy vigorosas (Conradie y Myburgh, 2000). Las uvas no tienen una alta demanda de fósforo y deberían tener requerimientos no mayores de 30 unidades por año (Poni *et al.*, 2003). En cuanto al magnesio, hay variabilidad dependiendo de los casos (García *et al.*, 2001).

En la elaboración de los vinos, el potasio es esencial para obtener una buena calidad del mosto (Matín, 2004). Una deficiencia potásica (menos de 0.5% de potasio en hoja de materia seca) conduciría a una reducción en el grado alcohólico del vino y también debilitaría la planta. Una producción de 60 hl/ha requiere de 50 a 80 kg K₂O/ha. La disponibilidad de potasio para la planta es muy importante, sobre todo entre los meses de junio y finales de agosto (Poni *et al.*, 2003; Sibling *et al.*, 2003).

La adición de fertilizante deberá estar basada en la etapa fenológica del cultivo como se muestra en el Cuadro 1.

Muestreo foliar

Para la realización del análisis foliar se deberá primero tomar la muestra a analizar. El muestreo es

muy importante, ya que la mayor variabilidad en el programa de análisis de planta recae en este paso (Crop Tech, 2002a).

Cuadro 1. Distribución porcentual de los fertilizantes a través del ciclo de cultivo de la *Vitis vinifera* para Chenin Blanc / 99R.

Etapa fenológica	N	P	K	Ca	Mg
Brotación - inicio floración	14	16	15	10	10
Floración - cuajado	14	16	50	46	12
Cuajado - envero	38	40	9	8	43
Poscosecha	34	28	24	30	35

Adaptado de Conradie (2001a) y Conradie (2001b).

El muestreo foliar se realiza en dos momentos fenológicos: floración (50% de flores) y envero (50% de bayas). Se tomarán dos hojas por cepa. Tamaño de la muestra: unas 50 hojas enteras, sanas, opuestas al primer racimo (del pámpano principal) en la floración y opuestas al segundo en el envero. En caso de ausencia de un segundo racimo en el sarmiento elegido, se procederá a recoger la hoja del tercer entrenudo por encima del primer racimo (Crop Tech, 2002b).

Niveles foliares recomendados para vid

Los niveles nutricionales para la vid de acuerdo con el método de California, adoptado en la zona viticultora de Napa, California y en Australia, se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Niveles foliares establecidos para la zona vitivinicultora de California y adoptados también para Australia

Elemento	Deficiente	Marginal	Adecuado	Alto	Toxicidad
N g kg ⁻¹			8.0 - 11.0		
P g kg ⁻¹	2.0	2.0 - 2.4	2.5 - 5.0	5.0	
K g kg ⁻¹	10.0	10.0 - 17.0	18.0 - 23.0		
Ca g kg ⁻¹			12.0 - 15.0		
Mg g kg ⁻¹	3.0	3.0 - 3.9	4.0		
Na g kg ⁻¹					5.0
Cl g kg ⁻¹					10.0
NO ₃ mg kg ⁻¹	340	340 - 499	500 - 1200	1200	
Mn mg kg ⁻¹	20	20 - 29	30 - 60		500
Zn mg kg ⁻¹	15	15 - 25	26		
Cu mg kg ⁻¹	3	3 - 5	6 - 11		
B mg kg ⁻¹	25	26 - 34	35 - 70	71 - 100	120
Fe mg kg ⁻¹			30		

Rangos nutricionales adaptados de Reuter y Robinson, 1997.

Nutrición mineral de la vid

A continuación se discute cada elemento y su importancia para el cultivo de la *V. vinifera* para vino.

Nitrógeno (N)

Funciones del N en la planta. El N es un importante constituyente de los aminoácidos, que son los bloques que forman las proteínas, las lecitinas y la clorofila. (Keller, 2001a). Las plantas utilizan el N para formar las proteínas, que son la estructura básica de los cloroplastos. La deficiencia de N puede reducir el crecimiento, lo que promueve la acumulación de los carbohidratos de reserva en la planta. Por otro lado, el exceso de N puede promover un crecimiento excesivo y reducir la acumulación de carbohidratos (Keller, 2001b). Las raíces absorben el N ya sea en forma de amonio (NH_4) o de nitrato (NO_3). Sin embargo, los viñedos absorben la mayoría del N como NO_3 , y de esta forma es transportado hacia las hojas. En este sitio, el NO_3 sufre una serie de transformaciones que terminan en la formación de proteínas y otros compuestos nitrogenados (Keller *et al.*, 1998; Zerihun y Treeby, 2002).

Síntomas de deficiencia de N. La deficiencia de N no se detecta fácilmente hasta que la carencia de este nutriente en la planta es severa. Cuando esta condición se presenta, las hojas muestran un color que va de verde pálido a amarillento, distribuido uniformemente en las hojas. Además, se reduce el crecimiento del tallo, y el viñedo demuestra una apreciable reducción en el vigor de las plantas. El rendimiento de la uva no se incrementa inmediatamente después de la aplicación de N (Rodríguez-Lovelle *et al.*, 2002). En viñedos con bajo contenido, se observa respuesta en crecimiento de la planta a la aplicación de N, pero la respuesta en rendimiento será evidente solamente en el siguiente ciclo de producción. Se debe tener en cuenta que problemas como ataque de nematodos, mal manejo del riego o compactación del suelo pueden también producir plantas débiles, aun cuando el N no sea un factor limitante.

Fósforo (P)

Funciones del P en la planta. El P forma parte de los ácidos nucleicos, los fosfolípidos, las coenzimas NAD y NADP y, más importante aún, forma parte del ATP, compuesto que transporta la energía en la

planta. El P es requerido en altas concentraciones en las regiones de crecimiento activo. El P es absorbido por las plantas principalmente como ion H_2PO_4 (Smorlarz y Mercik, 1997).

Síntomas de deficiencia de P. Las necesidades de P en el viñedo son mucho menores que las de N y K; por esta razón, la presencia de síntomas de deficiencia no es muy frecuente. Sin embargo, la falta de P afecta el crecimiento radicular y el crecimiento total de la planta. Las hojas son pequeñas con un amarillamiento que se inicia en las hojas viejas, y la fruta es también pequeña. Cuando la deficiencia es severa, las hojas toman un color rojizo (Conradie, 2000).

Potasio (K)

Funciones del K en la planta. Las plantas necesitan K para la formación de azúcares y almidones, y para la síntesis de proteínas. El K también neutraliza los ácidos orgánicos, regula la actividad de otros nutrientes, activa las enzimas responsables de muchos procesos fisiológicos y ayuda a ajustar la presión del agua dentro de la planta. Además, el K permite que la planta resista mejor las bajas temperaturas. A pesar de la intervención directa del K en los procesos antes descritos, este elemento no forma parte de los compuestos orgánicos de la planta y más bien se encuentra presente en forma catiónica (K^+) en las células de la planta. La mayor demanda de K en el cultivo de la uva se presenta cuando abundantes cantidades de este nutriente se acumulan en la fruta en maduración. La planta toma también este nutriente del suelo en forma del catión (K^+) (Usha *et al.*, 2002).

Síntomas de deficiencia de K. Los síntomas aparecen primero en las hojas de las porciones medias de las ramas como un amarillamiento que se inicia en los filos de las hojas. A medida que el ciclo de crecimiento progresa, el amarillamiento se mueve hacia las áreas entre las nervaduras. En las variedades de color oscuro, este amarillamiento cambia a un color rojo bronceado. Luego, en todas las variedades, los bordes de las hojas se queman y se curvan hacia arriba o hacia abajo. Cuando la deficiencia es severa se reduce apreciablemente el crecimiento de la planta y los síntomas pueden estar presentes en casi todas las hojas antes de la floración.

Las hojas pueden caerse prematuramente, especialmente si existe estrés de humedad. Si la caída de hojas es grande, la fruta no desarrolla todo su color y no madura normalmente. Los racimos de fruta son pequeños y la fruta no tiene un color uniforme. La parte inferior del racimo puede colapsar a la mitad de su periodo de crecimiento y la fruta toma la apariencia de pasa (Volchenk *et al.*, 1999).

Magnesio (Mg)

Funciones del Mg en la planta. El Mg es el átomo central de la molécula de clorofila y por esta razón es esencial para la fotosíntesis. Además, el Mg activa muchas enzimas que la planta necesita para su crecimiento. Las plantas absorben este nutriente del suelo en forma de catión Mg^{2+} (García *et al.*, 2001).

Síntomas de deficiencia de Mg. Los síntomas de deficiencia de Mg se inician con un amarillamiento de las hojas bajas, que generalmente aparece a mediados del ciclo de crecimiento y progresa hacia arriba a medida que avanza el ciclo. El amarillamiento aparece primero en los filos de la hojas y se mueve hacia el interior de la hoja, entre las nervaduras primarias y secundarias; sin embargo, el color verde normal permanece en los bordes de las nervaduras. Luego, el área clorótica toma un color amarillo blanquecino, los márgenes de la hojas se queman y en las variedades de fruta coloreada aparece un borde rojizo después del borde quemado (García *et al.*, 2001).

Zinc (Zn)

Funciones del Zn en la planta. El Zn es necesario para la formación de auxina, para la elongación de los entrenudos y en la formación de cloroplastos, que son los compuestos que contienen la clorofila. En la uva, el Zn es esencial para el normal desarrollo de la hoja, la elongación de las ramas, el desarrollo del polen y el cuajado completo de la fruta. La planta toma este nutriente del suelo en forma de Zn^{2+} (Volchenk *et al.*, 1999).

Síntomas de deficiencia de Zn. Cuando existe carencia de Zn, el crecimiento de los tejidos nuevos se afecta. Las hojas nuevas son pequeñas, distorsionadas y presentan un moteado amarillento; sin embargo, las nervaduras mantienen una delgada

faja de color verde a su alrededor, a menos que la deficiencia sea muy severa. Las ramas detienen el crecimiento y se observan entrenudos cortos. La deficiencia de Zn afecta seriamente el cuajado y desarrollo de los frutos, reduciendo el rendimiento y la calidad de la uva. Los viñedos deficientes en Zn producen racimos pequeños con menos fruta de lo normal. Dentro del racimo la fruta varía en tamaño, desde normal hasta muy pequeña (Volchenk *et al.*, 1999).

Hierro (Fe)

Función de Fe en la planta. El Fe participa en la activación de varios sistemas enzimáticos en la planta. Una carencia de Fe interfiere con la producción de clorofila. El Fe se transporta en la planta como Fe^{2+} a los sitios de uso, donde se combina con proteínas para formar compuestos orgánicos complejos (Bertamini y Nadunchdezhian, 2005).

Síntomas de deficiencia de Fe. La deficiencia se presenta como un amarillamiento entre las nervaduras en las hojas nuevas. Esto produce una hoja con una red de nervaduras que permanece verde incluyendo las más pequeñas. Las áreas de amarillamiento severo a menudo cambian a color café y luego se necrosan. El crecimiento de la planta se reduce y las flores pueden también tomar un color amarillo pálido. El cuajado del fruto puede ser bajo (Bertamini y Nadunchdezhian, 2005).

Manganeso (Mn)

Funciones del Mn en la planta. El Mn actúa como activador de enzimas que participan en los procesos de crecimiento. Además, interviene en la formación de clorofila (Conradie, 2000).

Síntomas de deficiencia de Mn. Los síntomas se inician en las hojas viejas como un amarillamiento entre las nervaduras. La clorosis es entre las nervadura de la hoja (Conradie, 2000).

Boro (B)

Funciones del B en la planta. El B interviene en muchos procesos fisiológicos de la planta, como el transporte de azúcares, síntesis y estructura de la pared celular, lignificación, metabolismo de carbohidratos, metabolismo del RNA, AIA, fenoles

y ascorbato, respiración e integridad de la membrana plasmática. Entre las diversas funciones atribuidas al B en las plantas, dos están claramente definidas. Estas son la síntesis de la pared celular y la integridad de la membrana plasmática. El B es absorbido del suelo como borato $[B(OH)_4^-]$ y ácido bórico (H_3BO_3) (Treeby *et al.*, 2000).

Síntomas de deficiencia de B. Cuando el B es deficiente, las células pueden continuar dividiéndose, pero la estructura de los nuevos tejidos no se forma completamente. Los nuevos brotes son pequeños, de crecimiento distorsionado. Los entrenudos en las ramas son cortos y pueden crecer en zigzag y las hojas nuevas crecen amontonadas. Los síntomas de deficiencia de B son más claros en la fruta. Cuando existe deficiencia de B, los racimos producen numerosos frutos pequeños que persisten y maduran, pero también aparecen frutos de tamaño normal. Los frutos pequeños son de tamaño uniforme de forma muy redonda. Los síntomas de deficiencia de B no se deben confundir con los de Zn, que producen frutos pequeños de tamaño diferente (Treeby *et al.*, 2000).

Conclusiones

El presente escrito pone de manifiesto la importancia de la adecuada nutrición y fertilización del cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.) con el propósito de producir vinos de calidad en Chihuahua. Las recomendaciones formuladas deben ser tomadas como genéricas, hasta disponer de suficiente información como para brindar recomendaciones definitivas, ya que se requiere de investigación regional, tomando en cuenta las condiciones climáticas, varietales y de suelo en donde se cultiva la vid.

Literatura citada

- BERTAMINI, M., and N. Nadunchezhian. 2005. Grapevine Growth and Physiological Response to Iron Deficiency. *Journal of Plant Nutrition* 28: 737-749.
- CHEN, L., B.R. Smith, and L. Cheng. 2004. CO₂ Assimilation, Photosynthetic Enzymes, and Carbohydrates of 'Concord' Grape Leaves in Response to Iron Supply. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 129 (5): 738-744.
- CONRADIE, W.J. 1991. Distribution and Translocation of Nitrogen Absorbed During Early Summer by Two-Year-Old Grapevines in Sand Culture. *South African Journal of Enology and Viticulture* 42 (3): 180-190.
- CONRADIE, W.J. 2001a. Timing of Nitrogen Fertilization and the Effects of Poultry Manure on the Performance of Grapevines on Sandy Soils. I. Soil Analysis, Grape Yields and Vegetative Growth. *South African Journal of Enology and Viticulture* 22 (2): 53-59.
- CONRADIE, W.J. 2001b. Timing of Nitrogen Fertilization and the Effects of Poultry Manure on the Performance of Grapevines on Sandy Soils. II. Leaf Analysis, Juice Analysis and wine Quality. *South African Journal of Enology and Viticulture* 22 (2): 60-68.
- CONRADIE, W.J., and P.A. Myburgh. 2000. Fertiligation of *Vitis vinifera* L. cv. Bukettraube / 110 Richter on a Sandy Soil. *South African Journal of Enology and Viticulture* 21 (1): 40-47.
- CROP TECH. 2002a. The Crop Tech «Sap Analysis» Test. www.croptech.com.au/lab/sap.html.
- CROP TECH. 2002b. Sap Sampling Grapes. www.croptech.com.au/lab/crop/grapes.html
- DELGADO, R., P. Matín, M. Álamo, and M.R. González. 2004. Changes in the phenolic composition of grape berries during ripening in relation to vineyard nitrogen and potassium fertilization rates. *Journal of Science of Food and Agriculture* 84, pp. 623-630.
- GARCIA, M., P. Daverade, P. Gallego, and M. Toumi. 1999. Effects of Various Potassium-Calcium Ratios on Cation Nutrition of Grape Grown Hydroponically. *Journal of Plant Nutrition* 22(3): 417-425.
- GARCIA, M., P. Gallego, C. Daverade, and H. Ibrahim. 2001. Effects of Three Rootstocks on Grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Négrette, Grown Hydroponically. I. Potassium, Calcium and Magnesium Nutrition. *South African Journal of Enology and Viticulture* 22(2): 101-103
- KELLER, M., K.J. Arnink, and G. Hrazdina. 1998. Interaction of Nitrogen Availability During Bloom and Light Intensity During Veraison. I. Effects in Grapevine Growth, Fruit Development, and Ripening. *American Journal of Enology and Viticulture* 49(3): 333-340
- KELLER, M., M. Kummer, and M.C. Vasconcelos. 2001a. Reproductive growth of grapevines in response to nitrogen supply and rootstock. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 7: 12-18.
- KELLER, M., M. Kummer, and M.C. Vasconcelos. 2001b. Soil nitrogen utilization for growth and gas exchange by grapevines in response to nitrogen supply and rootstock. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 7: 2-11.
- MATÍN, P., R. Delgado, M.R. González, and J. I. Gallegos. 2004. Colour of 'Tempranillo' Grapes as Affected by Different Nitrogen and Potassium Fertilization Rates. *Acta Horticulturae* 652: 153-159.
- PONI, S., M. Quartieri, and M. Tagliavini. 2003. Potassium nutrition of Cabernet Sauvignon grapevines (*Vitis vinifera* L.) as affected by shoot trimming. *Plant and Soil* 253: 341-351.
- REUTER, D.J. and J.B. Robinson. 1997. Plant Analysis: An Interpretation Manual 2nd Edition. CSIRO Publishing.
- RODRIGUEZ-LOVELLE, B., and J. Gaudillère. 2002. Carbon and nitrogen partitioning in either fruiting or non-fruiting grapevines: effects of nitrogen limitation before and after veraison. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 8: 86-94.
- SIBLER, A., G. Xu, I. Levkovitch, S. Soriano, A. Bilu, and R. Wallach. 2003. High fertigation frequency: the effects of uptake of nutrients, water and plant growth. *Plant and Soil* 253: 467-477.
- SMOLARZ, K., and S. Mercik. 1997. Growth and Yield of Grape in Response to Long Term (since 1923) Different Mineral Fertilization. *Acta Horticulturae* 448: 42-432.
- TREEBY, M.T., B.P. Holzappel, G.J. Pickering, and C.J. Friedrich. 2000. Vineyard Nitrogen Supply and Shiraz Grape and Wine Quality. *Acta Horticulturae* 512: 77-92.

USHA, K., and B. Singh. 2002. Effects of Macro and Micro-Nutrients Spray on Fruit Yield Quality of Grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette. Proceedings of the International Society on Foliar Nutrition, *Acta Horticulturae* 594: 197-202.

VOLSCHENK, C.G., J.J. Hunter, D.J. le Roux, and J.E. Watts. 1999. Effects of Graft Combination and Position of Application on Assimilation and Translocation of Zinc in Grapevines. *Journal of Plant Nutrition* 22: 115-119.

ZERHUN, A. and M.T. Treeby. 2002. Biomass distribution and nitrate assimilation in response to N supply for *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon on five *Vitis* rootstock genotypes. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 8: 157-162. 

Este artículo es citado así:

Ojeda-Barríos, D. L., A. Rodríguez-Andujo, G. R. López-Ochoa, A. N. Leyva-Chávez y S. A. García-Muñoz. 2012: *Aspectos a considerar por los viticultores de Chihuahua en la nutrición de vid para vino*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 6(2): 77-83.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

DÁMARIS LEOPOLDINA OJEDA-BARRIOS. Maestra-investigadora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su Doctorado y Maestría en la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", su Licenciatura en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Actualmente conduce investigaciones sobre desórdenes nutricionales en frutales caducifolios. Imparte los cursos de Nutrición Vegetal, Fisiología Vegetal y Anatomía Vegetal. Es asesora de estudiantes de posgrado y licenciatura. Es responsable del área de Fisiología y Nutrición Vegetal con énfasis en Frutales Caducifolios en los cultivos de manzano y nogal pecanero en el Laboratorio de Bioquímica y Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas-UACH.

AÍDA RODRÍGUEZ-ANDUJO. Maestra-investigadora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su Licenciatura y Maestría en la Universidad Autónoma en el área de administración. Actualmente estudia el Doctorado en Educación Centrado en Investigación. Cuenta con diversos diplomados y cursos de especialidad. Imparte las asignaturas de Gestión Estratégica para el Desarrollo Territorial, Seminario de Investigación y Prácticas Profesionales. Es asesora de estudiantes de posgrado y licenciatura. Realiza diversas actividades de gestión académica.

GUSTAVO ROGELIO LÓPEZ-OCHOA. Ingeniero Industrial en Producción titulado por el Instituto Tecnológico de Chihuahua en 1990, con Maestría en Administración por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Trabajó por más de diez años en el Departamento de Análisis e Integración de Tecnologías de la Dirección de Investigación y Posgrado de la UACH. Actualmente es profesor en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la UACH. Su área de interés es la gestión de la innovación y la tecnología.

ARWELL NATHÁN LEYVA-CHÁVEZ. Maestro de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su Licenciatura y Maestría en el Instituto Tecnológico de Chihuahua en el área de Manufactura. Cuenta con diversos diplomados y cursos de especialidad. Imparte las asignaturas de análisis estadísticos, educación integral del estudiante y docencia innovadora. Actualmente está propuesto para un programa doctoral en ciencias en matemáticas con especialidad en estadística.

SILVIA AMANDA GARCÍA-MUÑOZ. Maestra-investigadora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su Maestría y Licenciatura en la Universidad Autónoma de Chihuahua. En la actualidad se encuentra estudiando el Doctorado en Ciencias en Manejo Sustentable de los Recursos Naturales en Zonas Áridas y Semiáridas. Imparte los cursos de anatomía vegetal y practicas profesionales. Es asesora de estudiantes de licenciatura.

Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo

Hydrolyzable and condensed tannins: chemistry, advantages and disadvantages of their intake

ALMA A. VÁZQUEZ-FLORES¹, EMILIO ALVAREZ-PARRILLA¹, JOSÉ ALBERTO LÓPEZ-DÍAZ^{1,2},
ABRAHAM WALL-MEDRANO² Y LAURA A. DE LA ROSA^{1,3}

Recibido: Marzo 6, 2012

Aceptado: Junio 22, 2012

Resumen

Los taninos hidrolizables y condensados han sido tema de debate en múltiples revisiones nutricionales. Mientras que algunos autores defienden su impacto benéfico en la salud, otros señalan sus acciones anti fisiológicas en el organismo que los consume. Los taninos son compuestos ampliamente distribuidos y consumidos en alimentos de origen vegetal, cuya cantidad, estructura química y actividad biológica están determinadas por múltiples factores, algunos de los cuales se discuten en esta revisión. Por todo esto, los taninos pueden ser percibidos como compuestos polifenólicos cuyo consumo puede traer numerosos impactos benéficos pero cuyos efectos negativos, observados en otros estudios, no deben ser pasados por alto al momento de hacer recomendaciones para su consumo como parte de una dieta habitual.

Palabras clave: polifenoles, alimentos, salud, proantocianidinas, galotaninos, elagitaninos.

Abstract

Hydrolysable and condensed tannins have been subject of debate in multiple nutritional reviews. While some authors advocate their beneficial impact on health, others point out their anti-physiological impact in the organism that consumes them. Tannins are compounds widely distributed and consumed in plant foods; the amount, chemical structure and biological activity are determined by multiple factors, some of which will be discussed in this review. For all these, tannins can be perceived as polyphenolic compounds whose consumption can bring several beneficial impacts; but whose negative effects, observed in others studies, should not be overlooked when making recommendations for consumption as part of a regular diet.

Keywords: polyphenols, food, health, proanthocyanidins, gallotannins, ellagitannins.

Introducción

Los alimentos son sistemas complejos que varían en composición y destino biológico. Son fuente de nutrientes tradicionales como proteínas, carbohidratos y grasas. Además, contienen otra gama de compuestos que al ser ingeridos tienen la capacidad de alterar los procesos metabólicos del organismo (Beecher, 2003). Cuando estos compuestos provienen de fuentes vegetales se les conoce como fitoquímicos (Andrés *et al.*, 2010).

¹ Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Anillo envolvente del Pronaf y Estocolmo s/n. Ciudad Juárez, Chihuahua, México. 32300.

² Departamento de Ciencias de la Salud. Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Anillo envolvente del Pronaf y Estocolmo s/n. Ciudad Juárez, Chihuahua, México. 32300.

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: ldelaros@uacj.mx.

Los compuestos polifenólicos son un grupo diverso de fitoquímicos que no se identifican como nutrientes esenciales, pero se les atribuyen efectos positivos sobre la salud de quienes los consumen habitualmente en la dieta, especialmente por su actividad como antioxidantes. Sin embargo, el mecanismo de acción de estos compuestos ha sido tema de múltiples estudios y debates, ya que poseen numerosos efectos biológicos incluyendo regulación de la expresión de genes y actividad de diversas enzimas, entre otros. Sin embargo, sus potenciales efectos biológicos dependen de numerosos factores que aún no son bien comprendidos, como su absorción o metabolismo, que a su vez depende de la naturaleza química del compuesto (Beecher, 2003; Andrés *et al.*, 2010).

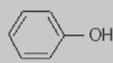
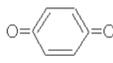
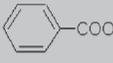
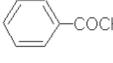
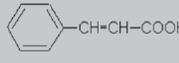
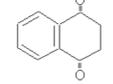
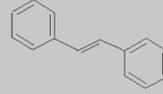
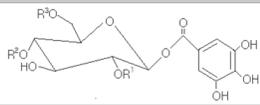
Dada su complejidad y diversidad en estructuras químicas y efectos biológicos, es también importante tener presente que diversos polifenoles, o incluso la mayoría de ellos, poseen también efectos adversos, como la interferencia que causan en la absorción de proteínas, así como su posible efecto pro-oxidante en elevadas cantidades. De esta manera, en el presente artículo presentamos una breve revisión sobre algunos de los efectos, tanto positivos como negativos, del consumo de un tipo particular de compuestos polifenólicos, los taninos.

Estructura química de los polifenoles

Los compuestos polifenólicos varían ampliamente en estructura, desde los más simples (monómeros y oligómeros) hasta los polímeros complejos de peso molecular alto (taninos). Se han identificado más de 4000 compuestos polifenólicos individuales, los cuales se han dividido en dos grandes grupos: los flavonoides y los no flavonoides. Estos últimos incluyen a las moléculas más sencillas, como los ácidos fenólicos con esqueletos químicos de seis carbonos (C_6), ligados o no con esqueletos de dos hasta cuatro carbonos (C_6-C_4). Ejemplos más complejos de compuestos no flavonoides son aquellos cuyos

esqueletos poseen su porción C_6 unida a porciones C_2 y a otro anillo C_6 , como en el caso de los estilbenos, galotaninos o elagitaninos. Estos últimos son conocidos como taninos hidrolizables, los más complejos de los fenoles no flavonoides. En la Figura 1 se muestran los subgrupos en que son divididos los compuestos no flavonoides. Además, los hidrógenos de carbono en los esqueletos básicos pueden ser sustituidos por grupos hidroxilo o carboxilo, dando lugar a compuestos específicos como el ácido gálico (ácido fenólico sustituido por tres grupos oxidrilo).

Figura 1. Estructura química de compuestos polifenólicos no flavonoides.

Clase	Esqueleto químico	Estructura básica
Fenoles simples	C_6	
Benzoquinonas	C_6	
Ácidos fenólicos	C_6-C_1	
Acetofenonas	C_6-C_2	
Ácido hidroxicinámico	C_6-C_3	
Naftoquinonas	C_6-C_4	
Estilbenos	$C_6-C_2-C_6$	
Taninos hidrolizables (unidades de ácido gálico o elágico unidos a carbohidratos)	Estructuras variadas	

Los polifenoles flavonoides tienen un esqueleto químico que consta de tres porciones: dos anillos aromáticos y un anillo heterocíclico oxigenado ($C_6-C_3-C_6$). Los flavonoides conforman el grupo más variado estructuralmente, debido a que su esqueleto

base tiene numerosas posibilidades de sustitución por grupos hidroxilo (-OH), metoxilo (-O-CH₃), acilo (-CO), y glucósidos. Algunos compuestos flavonoides y sus estructuras químicas básicas se muestran en la Figura 2. Al igual que en los no flavonoides, las variadas posibilidades de sustitución del esqueleto flavonoide originan polifenoles específicos. Las diferencias estructurales entre polifenoles específicos escapan de los objetivos de esta revisión, sin embargo, existen varias revisiones completas sobre el tema (Dai y Mumper, 2010; Quideau *et al.*, 2011).

Figura 2. Estructura química de compuestos polifenólicos flavonoides. Los esqueletos básicos constan de tres anillos: dos aromáticos y un heterociclo oxigenado.

Clase	Estructura básica
Antocianidina	
Chalconas	
Dihidroflavonoles	
Flavanol	
Flavones	
Flavanonas	
Taninos condensados	
Estructura común	

Ambos grupos, flavonoides y no flavonoides, se pueden encontrar formando compuestos de muy alto peso molecular (>500 UMA), llamados, en ambos casos, taninos. Sin embargo, cada grupo origina un tipo específico de taninos: los no flavonoides polimerizan para formar taninos hidrolizables, mientras que ciertos flavonoides, al polimerizar, forman taninos condensados (Cheynier, 2005). Los taninos son compuestos que no solo poseen un elevado peso molecular, sino además presentan suficientes grupos hidroxilo unidos a estructuras fenólicas que les confieren la característica de formar complejos con proteínas, minerales y otras macromoléculas (Reed, 2010). Los taninos hidrolizables, como los galotaninos o elagitaninos, provienen de la esterificación de compuestos polifenólicos no flavonoides, como el ácido gálico o elágico, respectivamente. Por su parte, los taninos condensados o proantocianidinas, provienen de la esterificación de compuestos polifenólicos flavonoides, como las catequinas o flavan-3-oles.

Por último, la clasificación actual de los taninos es posible que empiece a desvanecerse, ya que estudios recientes señalan, por ejemplo, que algunas proantocianidinas presentes en semillas de uvas pueden unirse también a porciones monoméricas de taninos hidrolizables, como el ácido gálico (Fine, 2000). Este y otros estudios subrayan la importancia de llevar a cabo constantes investigaciones para la identificación de las estructuras de los taninos en vegetales, ya que su estructura química condiciona su actividad biológica (Gonçalves *et al.*, 2011) y su afinidad por ciertas moléculas del organismo (Cala *et al.*, 2010).

Presencia de taninos en alimentos

La estructura química de los taninos varía cualitativa y cuantitativamente en vegetales y frutas. Aunque algunos taninos son comunes en el reino vegetal, unos son característicos de alguna fruta y otros de algún vegetal en específico; por ejemplo, los taninos condensados abundan en las uvas, sin embargo, en ciertas variedades de *V. vinifera* predominan los taninos

condensados acilados (Cheynier, 2005). Otros factores que afectan la presencia de taninos en vegetales son las condiciones ambientales (Torchio *et al.*, 2010), genéticas o estado de maduración del fruto o la planta (Bindon y Kenedy, 2011). Por ejemplo, por cuestiones genéticas, la uva contiene tanto taninos hidrolizables como condensados, estos últimos predominan especialmente en semilla, posiblemente por la mayor expresión de genes de biosíntesis en semilla (Schofield *et al.*, 2001). La maduración también influye en el tipo y concentración de taninos. Por ejemplo, en la cáscara de uvas, los taninos condensados se presentan en mayor grado de polimerización conforme el estado de maduración avanza (Kennedy *et al.*, 2001); otro factor importante es la parte del fruto, así, la mayor proporción de taninos condensados en manzana se encuentra en la cáscara (Prior y Gu, 2005). Es por esto que al final del día los consumos de taninos en la dieta suelen ser muy variados, tanto en estructura como en cantidad.

Los vegetales y frutos tienen la capacidad de acumular taninos en la totalidad de la planta de la que provienen: semillas, frutos, madera, raíz, hojas. En condiciones normales, los taninos vegetales representan del 2 al 7% del peso fresco de la planta. Esta cantidad representa la suma de todos los tipos de taninos presentes en el vegetal. No obstante, las concentraciones pueden aumentar debido al estrés producido por el ataque de patógenos (Haslam, 2007).

La USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés) tuvo el interés de crear una base de datos que estableciera el tipo y las cantidades de taninos condensados presentes en distintos alimentos comunes de la dieta americana (USDA, 2004; Prior y Gu, 2005). Este documento reveló que la presencia de proantocianidinas (taninos condensados) variaba según la parte del fruto que se analizaba, siendo habitualmente más abundante en la piel de frutas como uvas y manzanas. Cabe mencionar que uno de los hallazgos más importantes de este estudio fue

que las frutas con mayor contenido de taninos condensados fueron las bayas salvajes del bosque, seguidas de los arándanos. En el grupo de cereales y leguminosas, el sorgo y el cacao fueron los alimentos con mayor concentración de taninos, mientras que el grupo de las nueces lo encabezan las avellanas y las nueces pecaneras. Por último, en las especias, la que mayor contenido de taninos condensados exhibió fue la canela (Prior y Gu, 2005). Los detalles y cantidades de taninos presentes en estos alimentos se muestran en el Cuadro 1. No obstante, como se mencionó anteriormente, los taninos condensados se encuentran también en otros productos alimenticios, solo que en menores concentraciones, como por ejemplo en manzanas, duraznos, mangos, frijoles pintos, pistachos y bebidas como el vino tinto.

Cuadro 1. Contenido de taninos condensados poliméricos en algunos alimentos (USDA, 2004).

Producto alimenticio	Taninos condensados (mg/100g de producto)
Frutas	
Bayas	255 ± 8.39
Arándanos	233 ± 49.08
Cereales y leguminosas	
Sorgo	2927 ± 335.38
Cacao	1568.49 ± 334
Nueces	
Avellana	322.44 ± 102.48
Nuez pecanera	223.01 ± 59.01
Especias	
Canela	2508.78

La naturaleza química de los taninos condensados ha permitido un mayor monitoreo de su presencia en alimentos, puesto que para su determinación todos pueden ser degradados a antocianidinas (flavonoides) de fácil identificación por HPLC. Además existen métodos muy sencillos y de fácil aplicación para la determinación de taninos condensados por

espectroscopia, como el método de la vainillina (Naczki y Shahidi, 2004). Sin embargo, para los taninos hidrolizables la detección y cuantificación es más compleja. La estructura química de estos taninos contiene distintas porciones de glucosa, poliol y esterificaciones cruzadas diversas; es debido a esta complejidad que los métodos de determinación suelen presentar inconvenientes. El método preferente para su determinación es el ensayo de yodato de potasio (KIO_3), aun con ciertos inconvenientes, como la generación de cromóforos únicos con propiedades espectrales distintas durante la reacción, lo que origina una determinación errónea. Además, suele interferir la precipitación de sólidos durante la reacción debido a la presencia de mezclas de taninos (hidrolizables y condensados) en muestras vegetales (Hartzfeld *et al.*, 2002). Es por esto que actualmente no existe un método ampliamente aceptado para cuantificar taninos hidrolizables de manera simple, eficaz y sistemática en un gran número de muestras.

La importancia del monitoreo de las cantidades de taninos hidrolizables y condensados presentes en alimentos tiene que ver no solo con el estudio de su absorción y utilidad fisiológica (a revisar más adelante), sino que a nivel tecnológico, los taninos en alimentos representan parámetros de calidad (Drewnowski y Gómez, 2000). Por ejemplo, la sensación de astringencia es ligada muchas veces a características organolépticas negativas en algunos alimentos, pero deseadas en otros. Por ejemplo, la cantidad de proantocianidinas presentes en nueces pecaneras (~400 mg/100g) son suficientes para generar la sensación de astringencia característica de nueces, pero posiblemente esa misma cantidad no sea tan agradable si está presente en manzanas, ya que estamos acostumbrados a otro sabor y sensaciones cuando las consumimos.

Dicho lo anterior, los taninos forman parte de nuestra dieta común en variadas formas y cantidades. A cada acción existe una reacción,

y para cada ingesta, existe una consecuencia metabólica y fisiológica, para algunos autores positiva y para otros, negativa. Son múltiples las revisiones que colocan en debate este tema, por lo que en esta revisión se mencionarán a continuación algunas de las ventajas y desventajas del consumo de ambos tipos de taninos en la dieta.

Efectos biológicos positivos de taninos condensados e hidrolizables

Ambos tipos de taninos, al ser compuestos polifenólicos, han sido tema de múltiples revisiones científicas, destacando su propiedad antioxidante *in vitro* e *in vivo*. Sin embargo, los taninos hidrolizables, aunque se encuentran distribuidos ampliamente en plantas y son un parámetro muy importante de calidad de frutos, han recibido menos atención en lo que se refiere a su impacto a la salud. Esto posiblemente es debido a las dificultades en su identificación, aislamiento, purificación y cuantificación (Côté *et al.*, 2010; Monagas *et al.*, 2010; Hagl *et al.*, 2011). Debido a esto, es más fácil encontrar referencias que señalan mayor actividad biológica para los taninos condensados (Beecher, 2003).

Taninos hidrolizables

El más estudiado es pentagalolil glucosa (PGG), al que se le reconoce cierta actividad anti cancerígena, antidiabética y antioxidante en modelos experimentales *in vitro*. La actividad anti cancerígena *in vivo* de la PGG se ha probado para cáncer de próstata y pulmón. En ambos padecimientos, el suministro de PGG en dosis de 4 a 25 mg/kg de rata inhibe factores de crecimiento tumoral y vascular (Zhang *et al.*, 2009). No solo impide el crecimiento de tumores, sino también disminuye su tamaño, impidiendo procesos de angiogénesis (crecimiento vascular muy común en metástasis (Zhang *et al.*, 2009), y la supresión de la expresión de oncoproteínas (Jeong *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2011). Otros estudios exhiben a estos taninos con actividad antitumoral contra sarcomas (King *et al.*, 1998).

El efecto anti diabético fue probado con una variedad α PGG en adipocitos, donde se observó que el tanino tenía un efecto muy similar al de la insulina, puesto que se unía a los receptores específicos de insulina de la membrana celular, favoreciendo el transporte de la glucosa al interior de la célula, aun en ausencia de esta hormona. Este resultado fue comprobado *in vivo* en ratones diabéticos y obesos, donde la administración de la misma PGG, provocó mayor resistencia a la glucosa y bajos niveles en sangre (Zhang *et al.*, 2009).

En cuanto a su actividad como antioxidante, en una concentración de 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$, la PGG fue capaz de neutralizar *in vitro* especies altamente reactivas, como el superóxido y radical hidroxilo, así como disminuir la peroxidación de lípidos de membranas celulares (Zhang *et al.*, 2009). Cabe mencionar que a concentraciones mayores, de 200-400 $\mu\text{g}/\text{mL}$, no se observa el mismo efecto. En este contexto, se observa una importante acción biológica del tanino hidrolizable PGG que puede representar una actividad alta a muy bajas concentraciones. Es importante considerar, además, que los efectos fueron observados *in vitro*, por lo que, aunque estos estudios proporcionan una buena idea de su mecanismo de acción, muchas veces no reflejan del todo su actividad biológica. Aun así, es importante llevar a cabo este tipo de estudios básicos que sugieran el mecanismo de acción y permitan tener bases para plantear posteriores estudios que consideren intervenciones médicas controladas con estas sustancias purificadas, o bien, con alimentos ricos en ellas.

Taninos condensados

Los taninos condensados han sido más estudiados respecto a su actividad antioxidante, además de que se ha reportado que poseen beneficios a la salud por su actividad antibacterial o bacteriostático (Okuda, 2005), anticarcinogénica (Chung *et al.*, 1998), inhibidora de la peroxidación lipídica (Okuda, 2005), y de la agregación plaquetaria relacionada a la formación de trombos en

sistema circulatorio (Fine, 2000). *In vivo* se ha observado el efecto bacteriostático del jugo de arándano, atribuido a los taninos condensados presentes. El jugo de arándano no solo mantiene saludable el tracto urinario por la acidificación del medio, sino además las proantocianidinas presentes en el jugo exhiben actividad antibacterial, impidiendo la adhesión de *E. coli* a superficies celulares del tracto urinario (Prior y Gu, 2005).

El estudio de la actividad antioxidante de taninos condensados *in vitro* e *in vivo*, demuestra que son secuestradores efectivos de radicales libres, que inhiben la oxidación de tejidos mejor que la vitamina C, vitamina E y β caroteno (Fine, 2000). *In vitro*, se ha demostrado que los taninos condensados tienen una preferencia por neutralizar el radical libre hidroxilo ($\cdot\text{OH}$). Así mismo, se demostró que tienen la capacidad de actuar como inhibidores no competitivos de la enzima xantina oxidasa, una de las mayores generadoras de radicales libres en el metabolismo celular (Fine, 2000).

Por último, la actividad antioxidante de taninos condensados tiene la capacidad de evitar la oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y por ello inhibe la formación de trombosis en personas con padecimientos cardiacos como la aterosclerosis. Otros estudios sugieren que la administración de extracto de semilla de uva tiene efecto hipocolesterolemia en modelos animales, específicamente disminuye las concentraciones de LDL en plasma y aumenta las lipoproteínas de alta densidad (HDL) conocidas como «colesterol bueno» (Finne, 2000).

No cabe duda de la actividad antioxidante que taninos condensados exhiben *in vivo* e *in vitro*, de tal manera que se podría considerar recomendable incluir un buen aporte de estos taninos en la dieta para gozar de los beneficios a la salud que van relacionados con su capacidad antioxidante. Algunos de estos beneficios pueden ser la inhibición de la oxidación lipídica, así como su efecto anti carcinogénico, que va muy ligado a prevenir

daños al ADN causados por radicales libres, y el posterior desarrollo de células mutantes o cancerígenas (Chung *et al.*, 1998; Finne, 2000; Okuda, 2005). Sin embargo, se debe mencionar que las intervenciones que observaron estos resultados tan provechosos sobre la salud han sido en modelos animales y no en intervenciones clínicas con seres humanos. Por otra parte, las dosis suministradas son más altas que las que se pueden obtener directamente de fuentes vegetales presentes en la dieta de un individuo promedio.

Efectos biológicos negativos de taninos condensados e hidrolizables

La atención prestada a los taninos no solo se basa en el impacto benéfico sobre la salud. Los autores de revisiones científicas también han dedicado tiempo a describir los efectos adversos y en muchos casos anti nutritivos de la ingesta de taninos en la dieta. Estos efectos incluyen la formación de complejos con proteínas, carbohidratos y minerales, así como su efecto pro-oxidante a altas concentraciones, como se describe a continuación.

Las características anti nutritivas que poseen los taninos se hacen patentes desde su definición, por su capacidad de unirse a proteínas. Es bien conocida la capacidad que tienen los taninos de precipitar proteínas presentes en la saliva (Soares *et al.*, 2011), conduciendo a la sensación de astringencia de ciertos alimentos y bebidas de origen vegetal (Cala *et al.*, 2011), como el vino, las manzanas (cáscara), uva, y algunas nueces. Los taninos se unen fuertemente a proteínas ricas en aminoácidos como prolina, glicina y ácido glutámico (Cheyner, 2005) y péptidos por dos interacciones importantes: puentes de hidrógeno (entre el grupo carbonilo de los péptidos y los hidrógenos del grupo hidroxilo de polifenoles) e interacción hidrofóbica (entre los aminoácidos neutros y los anillos aromáticos de los taninos). Cabe señalar a este respecto que todas estas interacciones dependen de la preferencia de cada molécula de tanino para arreglarse tridimensionalmente, y de su estado coloidal (Cala *et al.*, 2011).

Por otra parte, las proteínas dietarias son uno de los nutrientes básicos para una gran variedad de reacciones de crecimiento y correcto funcionamiento del metabolismo, además de ser un componente estructural de músculos y sostén del cuerpo. Sin embargo, al igual que con las proteínas salivales, las proteínas dietarias también pueden ser un blanco fácil para los taninos, haciéndolas indisponibles para su digestión y absorción (Bennik, 2002). Otra desventaja que presentan los taninos, es su capacidad de inhibir enzimas digestivas, lo cual compromete seriamente no solo la digestión de proteínas (Brás *et al.*, 2010), sino también de otros macronutrientes. Por ejemplo, se ha identificado la formación de complejos entre la α -amilasa y taninos, lo cual complica la degradación, asimilación y absorción de carbohidratos. En modelos animales, una mala absorción de carbohidratos en forma de almidón conduce a retraso en el crecimiento (Thompson, 1998). En consecuencia, los taninos pueden ocasionar una disminución en la absorción de proteínas y carbohidratos, ambos efectos ocasionados por su habilidad de formar complejos con macromoléculas, el principal motivo por el cual la ingesta de taninos puede interferir negativamente en la salud (Reed, 2010). Estos efectos nocivos de los taninos pueden ser todavía más severos en organismos herbívoros.

Otra desventaja de la ingesta de taninos es su interacción con minerales divalentes como el hierro no hemático, inhibiendo la absorción de los metales, lo que puede llegar a ser un problema en poblaciones de riesgo como anémicos y población vegetariana. Esto se complica aún más cuando las fuentes de taninos son té o vino, los cuales contienen un escaso contenido de vitamina C, ya que ésta incrementa la absorción de hierro no hemático (Perron y Brumaghim, 2009).

El efecto antinutritivo de los taninos se ha probado en modelos animales. En ratas, dosis de 0.5 a 2 g/kg/día (5% de la dieta) no mostraron toxicidad aguda, pero afectaron el crecimiento.

Concentraciones más bajas no provocaron ningún efecto negativo (Mennen *et al.*, 2005). Se deduce que dichos efectos se debieron a la formación de complejos de proteína con taninos, los cuales precipitan, induciendo una mala absorción y escaso beneficio proteico para el organismo.

Algunas revisiones científicas dedicadas al análisis de los efectos adversos del consumo de taninos y compuestos polifenólicos describen la actividad pro-oxidante de estos compuestos. Ésta se refiere a que los polifenoles administrados pueden tener, algunas veces, un efecto contradictorio al esperado, es decir, pueden dañar tejidos cuando se ingieren concentraciones altas; así, ratas alimentadas con concentraciones por arriba de los 200 µg/mL de PGG presentaron un efecto pro-oxidante, posiblemente debido a la oxidación de los taninos (Galati y O'Brien, 2003).

Diversos autores señalan que el efecto benéfico o nocivo de los compuestos polifenólicos es dependiente de la cantidad en que son ingeridos por el consumidor. Existen estudios que estiman una ingesta aproximada de polifenoles en 800 mg al día en la dieta occidental, sin embargo, estas estimaciones son en base a la determinación de compuestos fenólicos totales. De este valor, sólo un porcentaje es considerado específicamente de taninos en la dieta, por lo que aún es difícil determinar la cantidad exacta de taninos que ingerimos en la dieta (Hervert *et al.*, 2011). Es importante resaltar que, en seres humanos con la cultura y dieta occidental actual, es difícil llegar a las dosis en que estos compuestos puedan llegar a ser perjudiciales para la salud, ya que nuestros hábitos alimenticios no permiten la ingesta de grandes cantidades de taninos. Por ejemplo, existe la costumbre de remojar los frijoles pintos antes de su cocción, lo que disminuye dramáticamente la cantidad de polímeros polifenólicos presentes (Prior y Gu, 2005). Aunado a esto, estamos acostumbrados a consumir frutas y vegetales mínimamente procesados, donde también ocurren eventos de degradación de taninos (Barberán y Espín, 2001). Esto

posiblemente nos coloque en una balanza positiva respecto a recibir más efectos positivos que negativos de la ingesta de taninos, sin llegar a un nivel de toxicidad (más del 5% de la dieta diaria para modelos animales).

La influencia de la matriz en que son suministrados los polifenoles (taninos) también es importante: los taninos que se obtienen de fuentes alimenticias son mucho más seguros que aquellos que se ingieren como suplementos, y que generalmente son extraídos de fuentes como resinas o cortezas de árbol (Mennen *et al.*, 2005).

Conclusiones

El impacto positivo o negativo de la ingesta de taninos al consumir alimentos de origen vegetal, es el producto de diversas variables: el tipo de taninos presentes, la cantidad y fuente de los taninos y el tipo de población que lo ingiere, entre otras. Es probable que los niños con alguna deficiencia de minerales o en situación de riesgo de desnutrición en general, mujeres embarazadas y poblaciones con alguna deficiencia de proteínas (vegetarianos) puedan resentir con mayor fuerza los efectos adversos de los taninos. Sin embargo, no hay que pasar por alto el elevado potencial antioxidante de estos compuestos que, en circunstancias adecuadas, les puede conferir un efecto protector de la salud.

Es muy importante el desarrollo de investigaciones que generen una base de datos completa que describa las fuentes de taninos en la dieta, con descripciones cualitativas y cuantitativas que sean de fácil acceso e interpretación para los consumidores. De tal manera que, conociendo la información, se tome la decisión de recomendar ciertas dosis como parte de una dieta saludable. Así mismo, sería una herramienta útil para el diseño de estudios posteriores que eluciden el mejor aprovechamiento de estos compuestos fitoquímicos.

Agradecimientos

Se agradece a CONACYT (proyecto CB-2011-167164) por el financiamiento brindado.

Literatura citada

- ANDRÉS, C., Medina, A., Llorach, R., Urpi, M., Khan, N., Chiva, G., Zamora, R., Rotches, M., Lamuela, R. 2010. Phenolic compounds: chemistry and occurrence in fruits and vegetables. In: L.A. De la Rosa, E. Alvarez-Parrilla, G.A. González-Aguilar (eds). *Fruit and Vegetable Phytochemicals, Chemistry, nutritional value and stability*. USA: Wiley-Blackwell. 53-88.
- BARBERÁN, F., y Espín, J. 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81:853-876.
- BEECHER, G. 2003. Overview of dietary flavonoids: Nomenclature, occurrence and intake. *Journal of Nutrition* 133:3248s-3254s.
- BENNIK, A. 2002. Interaction of plant polyphenols with salivary proteins. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine* 13:184-196.
- BINDON, K., Kennedy, J. 2011. Ripening-induced changes in grape skin proanthocyanidins modify their interaction with cell walls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 6:2696-707.
- BRÁS, N., Gonçalves, R., Mateus, N., Fernandes, P., Ramos, M., De Freitas, V. 2010. Inhibition of pancreatic elastase by polyphenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 19:10668-10676.
- CALA, O., Fabre, S., Pinaud, N., Dufourc, E., Fouquet, E., Laguerre, M., Pianet, I. 2011. Towards a Molecular Interpretation of Astringency: Synthesis, 3D Structure, Colloidal State, and Human Saliva Protein Recognition of Procyanidins. *Planta Med* 11:1116-1122.
- CALA, O., Pinaud, N., Simon, C., Fouquet, E., Laguerre, M., Dufourc, E., Pianet, I. 2010. NMR and molecular modeling of wine tannins binding to saliva proteins: revisiting astringency from molecular and colloidal prospects. *FASEB Journal* 11:4281-4290.
- CHEYNIER, V. 2005. Polyphenols in foods are more complex than often thought. *American Journal of Clinical Nutrition* 81: 223s-229s.
- CHUNG, K., Wei, C., Johnson, M. 1998. Are tannins a double-edged sword in biology and health? *Food Science & Technology* 9:168-175.
- CÔTÉ, J., Caillet, S., Doyon, G., Sylvain, J., Lacroix, M. 2010. Analyzing cranberry bioactive compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 9:872-888.
- DREWNOWSKI, A., Gómez, C. 2000. Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *American Journal of Clinical Nutrition* 72:1424-1435.
- DAI, J., Mumper, R. 2010. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules* 10:7313-7352.
- FINE, A. 2000. Oligomeric proanthocyanidin complexes: History, structure, and phytopharmaceutical applications. *Alternative Medicine Reviews* 55:144-151.
- GALATI, G; y O'Brien, P. 2003. Potencial toxicity of flavonoids and other dietary phenolics: Significance for their chemopreventive and anti cancer properties. *Free Radical Biology and Medicine* 37:287-303.
- GONÇALVES, R., Mateus, N., Pianet, I., Laguerre, M., De Freitas, V. 2011. Mechanisms of tannin-induced trypsin inhibition: a molecular approach. *Langmuir* 21: 13122-13129.
- HAGL, S., Deusser, H., Soyalan, B., Janzowski, C., Will, F., Dietrich, H., Albert, F., Rohner, S., Richling, E. 2011. Colonic availability of polyphenols and D(-)quinic acid after apple smoothie consumption. *Molecular Nutrition Food Research* 3:368-377.
- HASLAM, E. 2007. Vegetable tannins-lessons of a phytochemical lifetime. *Phytochemistry* 68: 2713-2721.
- HARTZFIELD, P., Forkner, R., Hunter, M., Hagerman, A. 2002. Determination of hydrolysable tannins (Gallotaninns and Ellagitannins) after reaction with Potassium iodate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 1785-1790.
- HERVERT, D., García, O., Rosado, J., Goñi, I. 2011. The contributions of fruits and vegetables to dietary intake of polyphenols and antioxidant capacity in a mexican rural diet: importance of fruit and vegetables variety. *Food Research International* 44:1182-1189.
- JEONG, S., Koh, W., Lee, O., Lee, J., Lee, J., Bae, H., Lü, J., Kim, S. 2011. Antiangiogenic Phytochemicals and Medicinal Herbs. *Phytotherapy Research* 25:1-10.
- KENNEDY, J., Hayasaka, Y., Vidal, S., Waters, E., Jones, G. 2001. Composition of grape skin proanthocyanidins at different stages of berry development. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 11:5348-5355.
- KING, C., Chung, W., Johnson, M. 1998. Are tannins a double-edged sword in biology and health. *Trends in Food Science & Technology* 9:168-175.
- MENNEN, L., Walker, R., Bennetau-Pelissero, C., Scalbert, A. 2005. Risk and safety of polyphenol consumption. *American Journal of Clinical Nutrition* 81:326s-9s.
- MONAGAS, M., Urpi-Sarda, M., Sánchez-Patán, F., Llorach, R., Garrido, I., Gómez, C., Andres, C., Bartolomé, B. 2010. Insights into the metabolism and microbial biotransformation of dietary flavan-3-ols and the bioactivity of their metabolites. *Food Functio* 3:233-253.
- NACZK, M., Shahidi, F. 2004. Extraction and analysis of phenolics in foods. *Journal of Chromatography A* 1054:95-111.
- OKUDA, T. 2005. Systematics and health effects of chemically distinct tannins in medicinal plants. *Phytochemistry* 66:2012-2031.
- PERRON, N., Brumaghim, J. 2009. A review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding. *Cell Biochemistry and Biophysics* 100:53-75.
- PRIOR, R., Gu, L. 2005. Occurrence and biological significance of proanthocyanidins in the American diet. *Phytochemistry* 66:2264-2280.
- QUIDEAU, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., Pouységu, L. 2011. Plant polyphenols: Chemistry, biological activities and synthesis. *Angewante Chemie International Edition* 3:586-621.
- REED, J. 2010. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *Journal of Animal Science* 73:1516-1528.
- SCHOFIELD, P., Mbugua, D., Pell, A. 2001. Analysis of condensed tannins: a review. *Animal Feed Science and Technology* 91: 21-40.
- SOARES, S., Vitorino, R., Osório, H., Fernandes, A., Venâncio, A., Mateus, N., Amado, F., De Freitas, V. 2011. Reactivity of human salivary proteins families toward food polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 10:5535-5547.
- THOMPSON, L. 1998. Potential health benefits and problems associated with antinutrients in foods. *Food Research International* 26:131-149.
- TORCHIO, F., Cagnasso, E., Gerbi, V., Rolle, L. 2010. Mechanical properties, phenolic composition and extractability indices of Barbera grapes of different soluble solids contents from several growing areas. *Analitycal Chimica Acta* 1-2:183-189.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, (2004). USDA database for the Proanthocyanidins Content of Selected foods-2004.
- TSAO, R., y Zeyuang, D. 2004. Separation procedures for naturally occurring antioxidant phytochemicals. *Journal of Chromatography B* 812:85-99.
- ZHANG, L., Nkhata, K., Shaik, A., Wang, L., Li, L., Zhang, Y., Higgins, L., Kim, H., Liao, D., Xing, C., Kim, H., Lü, J. 2011. Mouse Prostate Proteome Changes Induced by Oral Pentagalloylglucose Treatment Suggest Targets for Cancer Chemoprevention. *Current Cancer Drug Targets* 11:787-798.
- ZHANG, Jinhui, L., Sung-Hoong, K., Ann, H., Junxuan, L. 2009. Anti-cancer, anti-diabetic, and other pharmacologic and biological activities of penta-galloyl-glucose. *Pharmaceutical Research* 26:1-27. 

Este artículo es citado así:

Vázquez-Flores, A. A., E. Alvarez-Parrilla, J. A. López-Díaz, A. Wall-Medrano y L. A. De la Rosa. 2012:
Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo.
TECNOCENCIA Chihuahua 6(2): 84-93.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

ALMA A. VÁZQUEZ-FLORES. Terminó su licenciatura en 2007, año en que le fue otorgado el título de Licenciada en Química por el Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Realizó su posgrado en esta misma institución, donde obtuvo el grado de Maestra en Ciencias Químico-Biológicas en el año 2012. Su área de especialización es la fitoquímica, investigando concretamente el perfil polifenólico de alimentos de origen vegetal. Ha presentado trabajos de investigación en congresos internacionales incluyendo el Food Science & Food Biotechnology in Developing Countries y el International Society for Nutraceuticals & Functional Foods.

EMILIO ALVAREZ-PARRILLA. Terminó su licenciatura en 1992, año en que le fue otorgado el título de Licenciado en Oceanología por la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Realizó su posgrado en España, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ciencia e Ingeniería de Alimentos en 1995 por la Universidad Politécnica de Valencia, y el grado de Doctor en Ciencias Químicas en el 2000 por la Universidad de Santiago de Compostela. Desde 2001 labora en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la UACJ y posee la categoría de Profesor Investigador de Tiempo Completo categoría C. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2001 (Nivel II a partir de 2011). Su área de especialización es fitoquímicos de alimentos y sus efectos benéficos sobre la salud. Ha dirigido 22 tesis de licenciatura y de maestría. Es autor de 28 artículos científicos, más de 40 ponencias en congresos, y 18 capítulos de libros científicos; ha sido coeditor de 2 libros científicos; ha participado en 18 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales) y proyectos internos de la Universidad de Colima y Universidad Autónoma de Baja California. Es árbitro de once revistas científicas de circulación internacional.

JOSÉ ALBERTO LÓPEZ DÍAZ. Obtuvo el título de Químico Biólogo por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca en 1995. Realizó estudios de posgrado en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, obteniendo el grado de Maestro y Doctor en Ciencias en el área de Ciencia de los Alimentos en el año 2003. Desde 2005 es profesor investigador en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, en el Instituto de Ciencias Biomédicas. Su área de especialización es la química y bioquímica de los alimentos. Ha dirigido tesis de licenciatura y de maestría. Es autor de diversos artículos de difusión y divulgación, y capítulos de libro, ha presentado ponencias en congresos nacionales e internacionales y ha dirigido proyectos de investigación con financiamiento externo.

ABRAHAM WALL-MEDRANO. Terminó su licenciatura en 1990, año en que le fue otorgado el título de Químico Farmacéutico Biólogo, por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG). Realizó su posgrado en Hermosillo Sonora, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias (especialidad en Nutrición Humana) 1999 y Doctor en Ciencias en el 2004, por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Desde 2006 labora en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la UACJ y posee la categoría de Profesor Investigador de Tiempo Completo categoría C. Su área de especialización es nutrición humana y experimental. Ha dirigido más de 40 tesis de licenciatura y maestría. Es autor de 20 artículos científicos, más de 40 ponencias en congresos, y 10 capítulos de libros científicos; ha participado en diversos proyectos de investigación financiados por fuentes externas, incluyendo fondos sectoriales y mixtos CONACYT.

LAURA A. DE LA ROSA. Terminó su licenciatura en 1996, año en que le fue otorgado el título de Licenciada en Oceanología por la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Realizó su posgrado en España, donde obtuvo el grado de Doctor en Ciencias Biológicas en el área de Farmacología en 2001 por la Universidad de Santiago de Compostela. Desde 2002 labora en el Departamento de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) y posee la categoría de Profesor-Investigador titular C. Recientemente ha realizado una estancia sabática en el Departamento de Bioquímica de la Memorial University of Newfoundland, Canadá en el área de alimentos funcionales. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2002 (Nivel I). Actualmente trabaja en el área de caracterización química y actividad biológica de fitoquímicos obtenidos de productos alimenticios. Ha dirigido 13 tesis de licenciatura y 1 de maestría. Es autora de aproximadamente 30 artículos científicos y capítulos de libro y co-editora de 2 libros científicos. Es evaluadora de proyectos de investigación y artículos en revistas científicas.

Incidencia de estrés calórico y su impacto en la fertilidad en un establo lechero

Incidence of heat stress and its impact on fertility in a dairy farm

JAVIER ANTILLÓN-RUIZ¹, MOISÉS BARCELÓ-FIMBRES¹, ALFREDO ANCHONDO-GARAY¹
Y FELIPE ALONSO RODRÍGUEZ-ALMEIDA^{1,2}

Recibido: Mayo 28, 2012

Aceptado: Junio 20, 2012

Resumen

El objetivo fue determinar la incidencia y efecto del estrés calórico (EC) sobre el porcentaje de preñez (PP) en un establo del municipio de Jiménez, Chihuahua. Los datos climáticos (temperatura del bulbo seco y humedad relativa) para el cálculo del índice de temperatura-humedad (ITH) se recabaron de una estación meteorológica próxima al establo. Los registros de inseminación artificial (IA) y PP fueron para un periodo de 13 meses (julio de 2009 a julio de 2010). Se corrió un análisis de regresión lineal múltiple del PP en el ITH promedio en el mes en que se llevó a cabo la IA (ITH₀) y uno (ITH₁), dos (ITH₂) y tres (ITH₃) meses antes de la IA. También se monitoreó la temperatura vaginal en seis vacas con más de 90 d de preñez cada hora durante cuatro meses (agosto a noviembre). El efecto del EC se reflejó durante el periodo comprendido de julio a noviembre con PP de 19 a 22%, donde se presentó una reducción en el PP de 10 a 14% respecto al periodo comprendido de enero a mayo, cuando el PP fue de 29 a 33%. El ITH que mejor predijo la tasa de preñez fue el ITH₂, con una R² de 0.91 y un coeficiente de regresión de -0.59 ± 0.057. La temperatura vaginal promedio durante los meses de monitoreo (agosto a noviembre) fue de 39.5 ± 0.2 °C, obteniendo temperaturas superiores a los 40 °C a las 18:00 h en agosto y septiembre. En conclusión, el EC observado en la región durante los meses cálidos tiene un efecto negativo sobre el PP.

Palabras clave: temperatura vaginal, ganado, condiciones climáticas.

Abstract

The aim of this study was to determine the incidence and effect of heat stress (HS) on the pregnancy rate (PR) in a dairy farm in the municipality of Jiménez, Chihuahua. Climatic data (dry bulb temperature and relative humidity) for calculating the temperature-humidity index (THI) were collected from a weather station near to the dairy farm. Records of artificial insemination (AI) and PR were taken for a period of 13 months (July-2009 to July-2010). A multiple linear regression analysis of the PR on the average THI of the month when the AI was conducted (THI₀) and one (THI₁), two (THI₂) and three (THI₃) months before the AI. Vaginal temperature was also monitored in six cows over 90 d of pregnancy every hour for four months (August to November). The effect of HS was reflected during the period from July to November with PR of 19 to 22%, which showed a reduction of 10 to 14% compared to PR over the period from January to May, when the PR was 29 to 33%. The THI that best predicted pregnancy rate was the THI₂, with an R² of 0.91 and a regression coefficient of -0.59 ± 0.057. The average vaginal temperature during the months of monitoring (August to November) was 39.5 ± 0.2 °C, recording temperatures above 40 °C at 18:00 h in August and September. In conclusion, HS observed in the region during the warmer months has a negative effect on the PR.

Keywords: vaginal temperature, cattle, climate conditions.

Introducción

Los animales experimentan estrés cuando las condiciones climáticas en que se encuentran sufren cambios notables. Estos cambios pueden ser temporales; en tal caso, la reacción del animal hacia este cambio terminará tan pronto como el efecto estresante termine; o será permanente, donde el animal tratará de adaptarse a esta nueva situación (Ravagnolo y Misztal, 2002). Los animales reducen la producción y reproducción para adaptarse a esta nueva situación (Bianca, 1965).

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

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: frodrigu@uach.mx.

Con base en lo antes mencionado, el estrés calórico (EC) puede ser cualquier situación ambiental que produzca condiciones fuera del rango de temperatura de la zona termo neutral de los animales (Buffington *et al.*, 1981). Así, durante periodos de EC prolongados, la producción de leche, el consumo de alimento y la actividad física se disminuyen (Fuguay, 1981). Un indicador ampliamente utilizado en áreas cálidas alrededor del mundo es el índice temperatura-humedad (ITH), el cual determina el impacto del EC sobre el ganado lechero. El umbral de estrés de este índice es 68. A este ITH, la tasa de respiración excede sesenta respiraciones por minuto y comienza a observarse una disminución en la producción de leche; la temperatura rectal de las vacas se elevará por encima de los 38.5 °C (Zimbleman y Collier, 2011).

El EC experimentado durante el verano en los establos lecheros a lo largo del sur de los EUA se ha reconocido como un factor que afecta ampliamente la eficiencia tanto productiva como reproductiva (Jordan, 2003). En el estado de Chihuahua, la industria lechera genera una derrama económica importante; sin embargo, con las condiciones climáticas que se presentan durante los meses de verano (ITH de 73), se infiere que se presenta EC y que éste repercute sobre la productividad de los animales; pero es poca la información que se tiene acerca del efecto del EC sobre el ganado lechero en esta región. Así, el objetivo fue evaluar la incidencia del EC durante el periodo de estudio y su impacto sobre la fertilidad en vacas Holstein de un establo de Jiménez, Chihuahua, representativo de las condiciones climáticas de la región norte – centro de México.

Materiales y métodos

Se trabajó con información del establo «Rancho San Antonio», localizado en el kilómetro 0.5 de la carretera a Búfalo, en el municipio de Jiménez, Chihuahua. El clima de la zona es semiárido extremo, con una temperatura media anual de 18.7 °C, una temperatura máxima de 42 °C y una mínima de -14 °C. Se tiene un promedio anual de 61 d de

lluvia, con una humedad relativa del 45% y una precipitación pluvial media anual de 374.1 mm. El establo maneja alrededor de 2,800 vacas en línea de ordeño, con un promedio de producción diaria por vaca de 32 l de leche en dos ordeños. Cuenta con áreas de sombra y ventilación mediante abanicos rotatorios, así como aspersores en la sala de ordeño. El número de animales inseminados por mes varió entre 721 y 1000, lo que representa un promedio de 28 animales por día; sin embargo, estos números tienden a variar dependiendo del número de vacas repetidoras, de vacas eliminadas, así como vaquillas que se integran al hato. Para llevar a cabo la inserminación artificial (IA) se utilizó el protocolo Ovsynch®, el cual consiste en la aplicación de GnRH (Cystorelin®), 7 d más tarde se aplica PGF_{2α} (Lutalyse®) y una segunda dosis de GnRH se aplica 48 h después de la PGF_{2α}. La IA se realizó a tiempo fijo 24 h después de la última aplicación de GnRH.

Se utilizaron los registros de IA y porcentaje de preñez (PP) mensual de la base de datos «Lactofox» del establo antes mencionado, para el periodo de julio de 2009 a julio de 2010. También se obtuvieron los registros de temperaturas y humedad relativa tomados cada 10 min durante el tiempo del estudio en una estación meteorológica marca Davis modelo VantagePro Plus2, con software WeatherLink 5.7.1, ubicada en las coordenadas 27° 02' 15" de Latitud Norte y 105° 11' 56" de Longitud Oeste, a 1503 msnm. Esta información se procesó para determinar las temperaturas mínima, media y máxima, así como la media de humedad relativa por día durante los meses en que se realizó el estudio. A partir de ella se determinó el índice de temperatura-humedad mediante la siguiente fórmula (Mader *et al.*, 2006):

$$ITH = (0.8 * T_{db}) + [(HR/100) * (T_{db} - 14.4)] + 46.4$$

Donde:

ITH es el índice de temperatura-humedad

T_{db} es la temperatura del bulbo seco; y

HR es la humedad relativa.

Posteriormente, se corrió un análisis de regresión lineal múltiple del porcentaje de preñez (PP= indicador de fertilidad expresado como número de hembras inseminadas que quedaron gestantes entre el número total de hembras inseminadas) en el ITH promedio en el mes en que se realizó la IA (ITH₀), y uno (ITH₋₁), dos (ITH₋₂) y tres (ITH₋₃) meses antes de la IA, mediante el procedimiento REG de SAS® (2003) utilizando el método paso a paso (stepwise) para la selección del mejor modelo.

Adicionalmente se monitoreó la temperatura vaginal de un grupo de seis vacas con preñez de más de 90 d, a las cuales se les colocó un termómetro OneWire® sujeto a un dispositivo CID-R® impregnado con P₄. Esta hormona (P₄) realiza diversas funciones relacionadas con el desarrollo del feto; de esta manera, el dispositivo utilizado no tiene ningún efecto adverso sobre el producto en desarrollo. El termómetro colectó la temperatura vaginal cada hora, las 24 h del día durante un periodo de cuatro meses (agosto a noviembre de 2009).

Resultados y discusión

Al correr la regresión múltiple del PP en el ITH medido en los diferentes meses, el único ITH que entró al modelo fue el ITH₋₂. En el Cuadro 1 se presentan las ecuaciones de regresión incluyendo sólo el ITH de cada mes a la vez. De acuerdo al coeficiente de regresión del PP en el ITH₋₂, se presenta una disminución de 0.59% en el PP por cada unidad de incremento en el ITH dos meses antes, con un coeficiente de determinación de 0.91. De este modo, dado que existe un incremento de aproximadamente 21.3 unidades en el ITH durante el verano, se espera una disminución en el PP de 12.6% durante el mismo periodo. Aunado a esto, es importante señalar el efecto acumulativo del ITH, puesto que los mayores valores se presentan en los meses de junio a agosto; sin embargo, repercuten sobre el PP dos meses después. En consecuencia, las intervenciones de manejo para reducir los efectos de la carga de calor sobre el PP deben ser implementadas al menos cinco semanas antes del servicio y una semana después del mismo (Morton *et al.*, 2007).

Esto indica el efecto detrimental acumulativo debido a una gran variedad de factores, que repercute finalmente sobre la salud y rendimiento del animal (Kumar *et al.*, 2011). Dentro de estos factores se encuentran las altas temperaturas registradas en los meses de verano, la HR y la velocidad del viento, trayendo consigo signos comunes del EC como lo es el incremento de la temperatura corporal (> 39.2 °C) y las palpitaciones (> 80 latidos/min); así como la reducción en la actividad física, el consumo de alimento y la producción de leche (West, 2003).

Cuadro 1. Ecuaciones de regresión lineal simple estimadas de la tasa de preñez sobre el índice de Temperatura-Humedad (ITH) en el mismo mes (ITH₀), un mes antes (ITH₋₁), dos meses antes (ITH₋₂) y tres meses antes (ITH₋₃) de llevarse a cabo la inseminación artificial en bovinos de leche.

ITH	Ecuación de regresión	R ²
Mes actual	$\hat{Y}_i = 40.0794 - 0.2344 * ITH_0$	0.15
Mes anterior	$\hat{Y}_i = 55.0468 - 0.4699 * ITH_{-1}$	0.63
Dos meses antes	$\hat{Y}_i = 62.3923 - 0.5890 * ITH_{-2}$	0.91
Tres meses antes	$\hat{Y}_i = 58.2081 - 0.5255 * ITH_{-3}$	0.70

En la Figura 1 se presenta el comportamiento del ITH y el PP a lo largo de los trece meses en que se realizó el estudio, donde se muestra un incremento en el ITH (73 vs 51) y una clara disminución en el PP (19 vs 33%) durante los meses cálidos del año. El mayor PP se obtuvo en el periodo de enero a mayo, y a partir de junio comienza a decaer para llegar a su nivel más bajo en el mes de septiembre. Huang *et al.* (2008) reportan un PP del 55% durante los meses de invierno en Nueva York y Georgia, y una caída de 10 y 24% durante los meses cálidos, respectivamente.

Katanani *et al.* (2002) reportaron que el EC puede causar daño al ovocito y puede tomar hasta dos meses recuperar la calidad del ovocito una vez que el efecto del EC ha finalizado. En otro estudio, Morton *et al.* (2007) encontraron

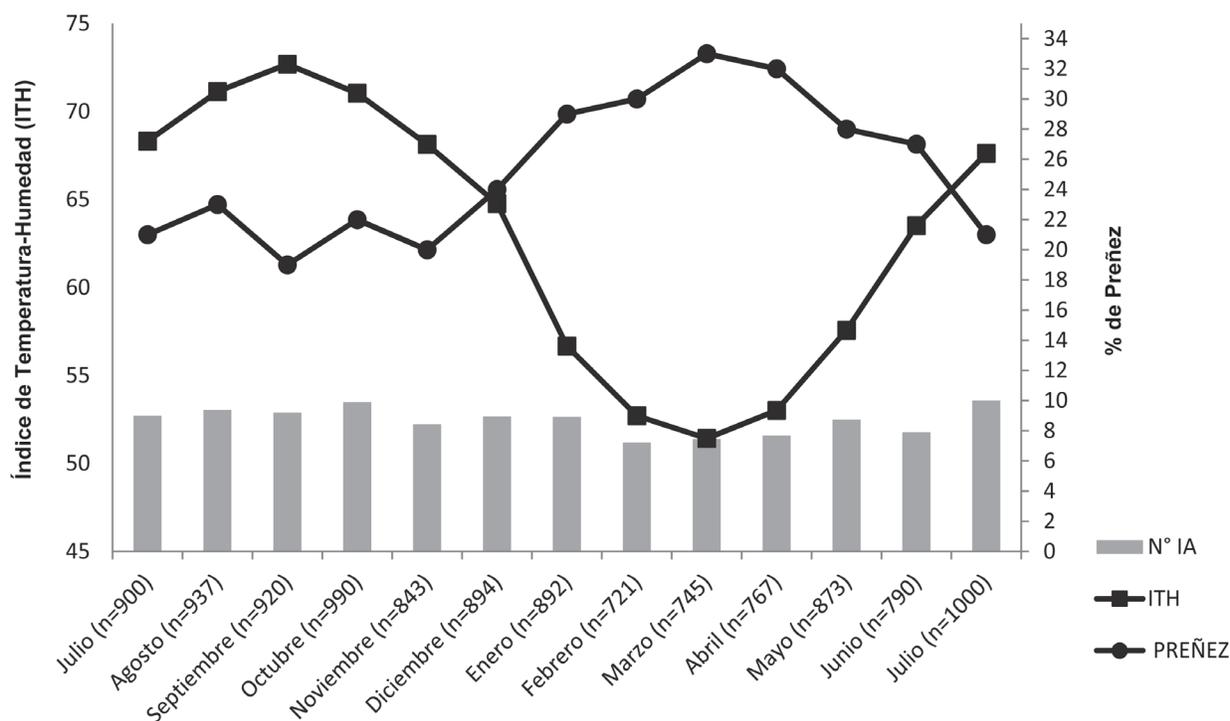
que la tasa de concepción fue afectada por las altas temperaturas antes y después del servicio; la incidencia de calor durante un tiempo prolongado tiene un efecto acumulativo, con reducciones observadas en la tasa de concepción en climas cálidos, reflejando este efecto desde la semana cinco antes del servicio hasta la semana uno después del mismo. Así, las temperaturas ambientales registradas en la región son superiores a los 26 °C y con HR de 46% durante los meses de verano, dando como resultado un ITH de 73, por lo que se sugiere que en este estado el animal se encuentra bajo EC y se tendrá un decremento en la fertilidad del hato.

Por otra parte, en la Figura 2 se presenta el promedio de la temperatura vaginal registrada por hora del día durante los cuatro meses de monitoreo. En ésta, se observa que la temperatura máxima se alcanza a las 18:00 h, con valores superiores a los 40 °C en los meses de agosto y septiembre, a pesar de que el

establo cuenta con sombra y ventilación, así como sistema de aspersión en la sala de ordeño; posteriormente, en los siguientes meses la temperatura tiende a disminuir. El patrón de comportamiento de las temperaturas registradas por hora del día durante los cuatro meses de monitoreo, sugiere que éstas tienden a aumentar con base en la actividad física del animal, como lo es la hora de ordeño (06:00 y 18:00 h) y servida del alimento (08:00 y 16:00 h).

Bouraoui *et al.* (2002) mencionan que se presenta un incremento de 0.5 °C en la temperatura rectal cuando el ITH se incrementa de 68 a 78; la frecuencia cardiaca y respiratoria se incrementa en seis latidos y cinco respiraciones por minuto, respectivamente. Por su parte, Dikmen y Hansen (2009) mencionan que temperaturas del bulbo seco de 29.7 °C estuvieron asociadas a temperaturas rectales de 39 °C y temperaturas del bulbo seco de 31.4 °C se asociaron a temperaturas rectales de 39.5 °C. En otro estudio realizado por Gwazdauskas

Figura 1. Porcentaje de preñez en el periodo de julio de 2009 a julio de 2010 con respecto al índice de Temperatura-Humedad con desfase de dos meses (ITH₂). N° IA = Número de vacas inseminadas artificialmente.



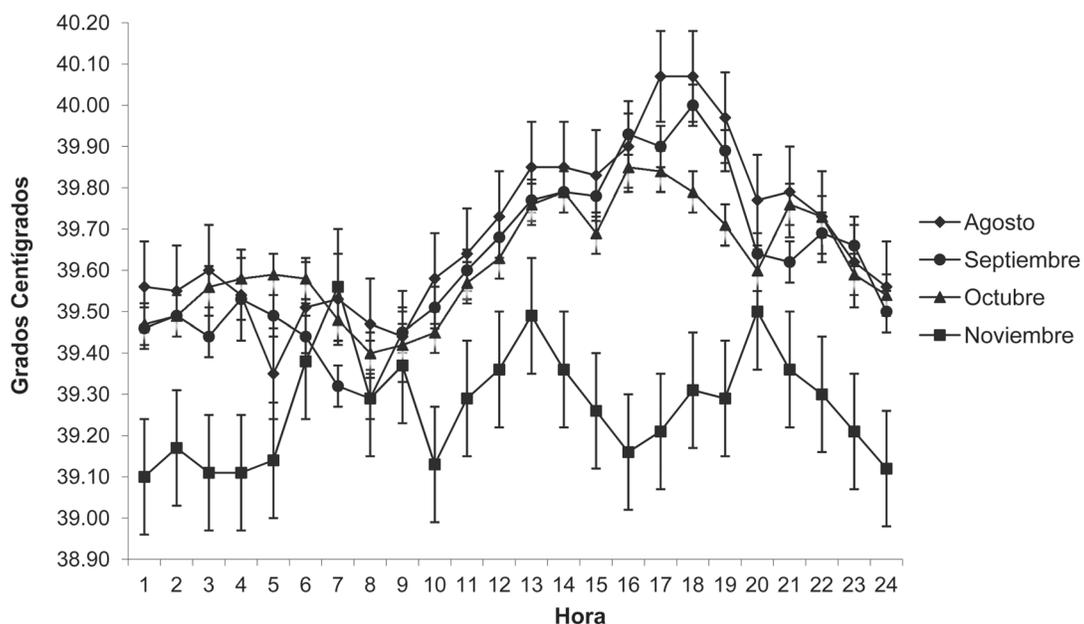
et al. (1973), estimaron una reducción del 12% en el PP por cada incremento en 0.5 °C de la temperatura uterina, por encima de los 38.6 °C. Como se mencionó anteriormente, la exposición de embriones en estadio temprano (una a dos células) a temperaturas similares a las que experimentan las vacas bajo EC puede conllevar a una reducción en el porcentaje de blastocistos obtenidos. Bajo ciertas circunstancias, es probable que el desarrollo embrionario se vea comprometido por las acciones directas del incremento en la temperatura sobre el ovocito y el embrión (Rivera y Hansen, 2001).

Las altas temperaturas ambientales ocasionan efectos detrimentales sobre los importantes procesos fisiológicos necesarios para el establecimiento y mantenimiento de la preñez después de la fertilización (Morton *et al.*, 2007). Dentro de estos efectos se encuentran un deterioro de la calidad del ovocito y desarrollo embrionario, incremento en mortalidad embrionaria, disfunción del endometrio, esteroidogénesis alterada en folículos ováricos y cuerpo lúteo, pérdida de los patrones normales

de dominio folicular y reducción del flujo sanguíneo uterino (Wolfenson *et al.*, 2000; De Rensis y Scaramuzzi, 2003).

Así, el EC reduce la eficiencia reproductiva del ganado lechero a través de una variedad de diferentes mecanismos. Para cuantificar con precisión la magnitud de la reducción en la eficiencia reproductiva que ocurre durante el verano en el norte del país, el cálculo de las variables de manejo reproductivo se debe de hacer mensualmente, en lugar de tener una base de datos anual. El uso de varios métodos de enfriamiento puede mejorar la fertilidad de las vacas bajo estrés térmico comparado con vacas que no están bajo estos sistemas de enfriamiento. Ya que los efectos negativos del EC han sido identificados desde 42 d antes de la inseminación hasta 40 d después de la misma. Los sistemas de enfriamiento deben estar disponibles para los animales continuamente. Aunque los programas de IA a tiempo fijo eliminan errores al detectar estros, como una razón de ineficiencia reproductiva, las tasas de concepción no han sido mejoradas.

Figura 2. Promedio de temperatura vaginal (\pm D. E.) registrada por hora del día en las vacas Holstein monitoreadas durante los meses de agosto a noviembre de 2009.



Dos métodos que muestran posibilidades de mejorar las tasas de concepción durante el verano son la transferencia de embriones de donadoras superovuladas y la inducción de un cuerpo lúteo accesorio (Jordan, 2003). Es necesario investigar para evaluar el potencial de cruzar razas lecheras tradicionales y no tradicionales para mejorar la capacidad reproductiva, mientras se mantengan los niveles de producción aceptables para el productor lechero. Además, es necesario comparar aspectos económicos de varias estrategias utilizando modelos para examinar múltiples escenarios basados en el costo de inversión.

Conclusiones

Las altas temperaturas ambientales, así como la humedad relativa registradas en Jiménez, Chihuahua, resultan en la presencia del EC, dando valores de ITH de hasta 73 en los meses de verano. La temperatura vaginal registrada alcanzó valores superiores a los 40 °C en los meses de agosto y septiembre y un promedio de 39.5 °C durante el periodo de julio a noviembre. El EC registrado trae como consecuencia un decremento significativo en el PP durante esta época.

De esta manera, la combinación de sistemas de enfriamiento y el uso de tecnologías reproductivas podría ayudar a mitigar los efectos negativos del EC. Dentro de ellos está la utilización de ventiladores y aspersores en corral y sala de ordeño para reducir el grado de hipertermia en los animales, la IA a tiempo fijo para evitar la pobre detección de estros, y la transferencia de embriones para incrementar la sobrevivencia embrionaria, así como la modificación genética al desarrollar animales adaptados a climas cálidos.

Agradecimientos

Al MVZ Carlos Campuzano (Establo «Rancho San Antonio», Jiménez, Chihuahua), por su valiosa colaboración y buena disposición al proporcionarnos los datos productivos y reproductivos del establo, así como los animales necesarios para la elaboración de esta investigación.

Literatura citada

- AL KATANANI, Y. M., F. F. Paula-Lopes, and P. J. Hansen. 2002. Effects of season and exposure to heat stress on oocyte competence in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 85:390-396.
- BIANCA, W. 1965. Reviews of the progress of dairy science. *Dairy Res.* 32:291-345.
- BOURAOUI, R., M. Lahmar, A. Majdoub, M. Djemali, and R. Belyea. 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim. Res.* 51:479-491.
- BUFFINGTON, D. E., A. Collazo-Aruchu, H. H. Canton, D. Pritt, W. Thatcher, and R. J. Collier. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equations for cows. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 7:329.
- DE RENSIS, F. and R. J. Scaramuzzi. 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow –A review. *Theriogenology* 60:1139-1151.
- DIKMEN, S. and P. J. Hansen. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J. Dairy Sci.* 92:109-116.
- FUGUAY, J. W. 1981. Heat stress as it affects animal production. *J. Anim. Sci.* 52:164-174.
- GWAZDAUSKAS, F. C., W. W. Thatcher, and C. J. Wilcox. 1973. Physiological, environmental, and hormonal factors at insemination which may affect conception. *J. Dairy Sci.* 56:873-877.
- HUANG, C., S. Tsuruta, J. K. Bertrand, I. Misztal, T. J. Lawlor, and J. S. Clay. 2008. Environmental effects on conception rates of Holsteins in New York and Georgia. *J. Dairy Sci.* 91:818-825.
- JORDAN, E. R. 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86:104-114.
- KUMAR, S., K. Ajeet, and K. Meena. 2011. Effect of heat stress in tropical livestock and different strategies for its amelioration. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry.* 7:45-54.
- MADER, T. L., M. S. Davis, and T. Brown-Brandl. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84:712-719.
- MORTON, J. M., W. P. Tranter, D. G. Mayer, and N. N. Jonsson. 2007. Effects of environmental heat on conception rates in lactating dairy cows: Critical periods of exposure. *J. Dairy Sci.* 90:2271-2278.
- RAVAGNOLO O. and I. Misztal. 2002. Effect of heat stress on nonreturn rate in Holstein cows: genetic analyses. *J. Dairy Sci.* 85:3092-3100.
- RIVERA, R. M. and P. J. Hansen. 2001. Development of cultured bovine embryos after exposure to high temperatures in the physiological range. *Reproduction.* 121:107-115.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT Software: Change and enhancements through release 9.2 for windows. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- WEST, J. W. 2003. Effects of heat stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2133-2134.
- WOLFENSON, D., Z. Roth, and R. Meidan. 2000. Impaired reproduction in heat-stressed cattle: Basic and applied aspects. *Anim Reprod. Sci.* 60-61: 535-547.
- ZIMBLEMAN, R. B. and R. J. Collier. 2011. Heat hits cows sooner than we thought. *Hoard's Dairyman.* April, 2011: 281.

Este artículo es citado así:

Antillón-Ruiz, J., M. Barceló-Fimbres, A. Anchondo-Garay y F. A. Rodríguez-Almeida. 2012: *Incidencia de estrés calórico y su impacto en la fertilidad en un establo lechero*. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 6(2): 94-100.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

JAVIER ANTILLÓN RUIZ. Obtuvo el título de Ingeniero Zootecnista en Sistemas de Producción en el 2008 y el grado de Maestría en Ciencias en el área de Reproducción y Genética Animal en el 2012 en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Desde el 2010 labora en esta Facultad y su área de especialización es la producción in vitro de embriones. Es autor de un artículo científico y una ponencia en congreso.

MOISÉS BARCELÓ FIMBRES. Obtuvo el título de Médico Veterinario Zootecnista (1999) por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y el grado de Maestría en Ciencias en Producción Animal, con área mayor en Reproducción y Genética Animal (2002), por la Universidad Autónoma de Chihuahua. En el 2007 obtuvo su grado de Doctor en la Universidad Estatal de Colorado, con el tema de disertación "Sustratos de energía, reguladores metabólicos y acumulación de lípidos durante el cultivo en embriones de bovino producidos in vitro". Estuvo adscrito a la Facultad de Zootecnia y Ecología del 2007 al 2010. Actualmente labora en una empresa privada, en un laboratorio de investigación y desarrollo sobre embriología, en Wisconsin, E.U.A. Es autor y coautor de 6 artículos en revistas indizadas internacionales con alto factor de impacto, así como de 18 trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales. Tuvo el reconocimiento del Sistema Nacional de Investigadores como Candidato en el periodo 2009-2011.

ALFREDO ANCHONDO GARAY. Es Ingeniero Zootecnista (1981) y Maestro en Ciencias en Producción Animal, con área mayor en Reproducción y Genética (1986), por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Se ha desempeñado como maestro investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Baja California Sur, Universidad de Guanajuato y a partir de 1987 en la Universidad Autónoma de Chihuahua, impartiendo diversas cátedras de licenciatura y posgrado. Cuenta con el perfil PROMEP desde noviembre del 2006 a la fecha. Ha desempeñado en diversos puestos administrativos: Jefe del Departamento de Reproducción y Genética, Coordinador Académico de la Secretaría de Investigación y Posgrado, Secretario de Extensión y Divulgación y Presidente de la Academia de Reproducción y Genética Animal. A la fecha, es autor y coautor de 12 artículos en revistas arbitradas e indizadas, 25 memorias en extenso de congresos nacionales e internacionales y 12 artículos en revistas de divulgación.

FELIPE ALONSO RODRÍGUEZ ALMEIDA. Es Ingeniero Zootecnista (1988) y Maestro en Ciencias en Producción Animal, con área mayor en Reproducción y Genética (1990), por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su doctorado en la Universidad de Nebraska-Lincoln (1994) en el área de Mejoramiento Animal, para lo cual realizó su disertación enfocada al desarrollo de modelos para la evaluación genética de bovinos carne en poblaciones multirraciales. Su trabajo de investigación en México lo ha enfocado principalmente al desarrollo de evaluaciones genéticas nacionales, el mantenimiento de la integridad de la membrana espermática en semen criopreservado de ovino, y la evaluación de cruza para la producción de cordero, con énfasis especial en la eficiencia biológica y los factores que influyen en la misma. Es autor y coautor de más de 30 artículos en revistas indizadas y arbitradas, tres capítulos en libro, y más de 50 trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales. Se ha desempeñado como académico en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua desde 1990 y ha sido Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1993 (Candidato 1993-1996, Nivel I 1996-2002, 2008-2014).

El plaguicida glifosato incrementa la V_{max} de la Ca^{2+} -ATPasa de membrana plasmática de eritrocito humano sin afectar su afinidad (K_m) por el substrato

The pesticide glyphosate increases the V_{max} of the Ca^{2+} -ATPase from plasma membrane of human erythrocyte without affecting its affinity (K_m) for the substrate

MANUEL ARELLANO-CARRILLO¹, JAVIER VARGAS-MEDRANO^{1,2}, JORGE A. SIERRA-FONSECA^{1,3}
Y FERNANDO PLENGE-TELLECHEA^{1,4}

Recibido: Septiembre 11, 2011

Aceptado: Febrero 9, 2012

Resumen

Los plaguicidas son un amplio grupo de sustancias heterogéneas que producen un beneficio mediante la disminución de vectores que transmiten enfermedades, y en el control de plagas que afectan la producción agrícola. En el presente trabajo estudiamos el efecto del glifosato (GF) sobre la actividad hidrolítica de la ATPasa dependiente de Ca^{2+} de membrana (PMCA) de eritrocito humano en su forma nativa (sin calmodulina [CaM]) o en el complejo activo CaM-PMCA. Nuestros resultados evidenciaron que el GF produjo un efecto dual, estimulador e inhibitorio, y el efecto fue dosis-dependiente: concentraciones bajas de GF (0.05-0.1 mM) estimularon la hidrólisis de ATP por PMCA en su conformación nativa en un 62.5%, y en el complejo activo por CaM el incremento fue de tan solo del 20% (basados en sus respectivos controles sin GF). Ambas formas conformaciones de PMCA fueron parcialmente inhibidas con GF 0.3-0.5 y 0.4-0.5 mM. El análisis sobre el efecto de GF en la afinidad de la enzima por el substrato (ATP), mostró que GF fue capaz de incrementar significativamente el consumo de ATP (V_{max}), pero solo para la conformación nativa de PMCA. Sin embargo, la afinidad de la enzima por el sustrato (K_m) no fue afectada en ninguna de las dos conformaciones de PMCA. En conclusión, GF afecta la velocidad del ciclo catalítico de PMCA sin afectar su afinidad por el sustrato, ello puede deberse a una interacción del plaguicida con el C-terminal de PMCA. Este efecto, pudiera ocasionar disturbios sobre la homeostasis celular del calcio desencadenando la activación de procesos celulares tales como la apoptosis.

Palabras clave: ATPasa de Ca^{2+} , membrana plasmática, glifosato, calmodulina, eritrocito humano.

Abstract

Pesticides are a broad group of heterogeneous substances with great benefit to the human population, as they are used for decreasing or killing a broad number of pests involved in transmission of diseases or involved in decreasing the levels of food production. In this work we studied the effect of glyphosate (GF) over the hydrolytic activity of plasma membrane Ca^{2+} -ATPase (PMCA) from human erythrocytes, either in their native conformational state (without calmodulin [CaM]) or in the active complex CaM-PMCA. Our results showed that GF produced a dual effect, activation and inhibition, and the effect was a dose-response effect: at low-concentrations of GF (0.05-0.1 mM), ATP hydrolysis mediated by PMCA was stimulated up to 62.5%, however with CaM the increase was only 20% (with respect to the controls without GF). Both conformational forms of PMCA were partially inhibited with GF 0.3-0.5 and 0.4-0.5 mM respectively. An analysis performed on PMCA affinity for the substrate (ATP) showed that GF was significantly increasing the ATP consumption (V_{max}) and it was only significant for PMCA in their native conformation. However, for the two conformations studied, GF was unable to significantly affect the affinity of PMCA for the substrate ATP (K_m). In conclusion, GF affects the velocity of the PMCA's catalytic cycle without affecting its affinity for ATP, and this may be due to an interaction between GF and the C-terminus of PMCA. This effect may disturb calcium homeostasis in the cell, leading to the activation of several cellular processes such as apoptosis.

Keywords: Ca^{2+} -ATPase, plasma membrane, glyphosate, calmodulin, human erythrocyte.

¹ Departamento de Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chihuahua, México. 32310.

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

³ Department of Biological Sciences, University of Texas at El Paso, El Paso, TX, U.S.A. 79968.

^{2,3} Dirección actual de permanencia.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: fplenge@uacj.mx.

Introducción

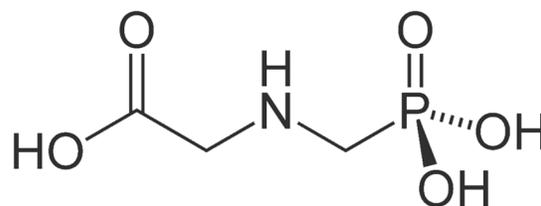
El glifosato (GF) o *N*-fosfonometilglicina (Figura 1) es un herbicida organofosforado (OF) de amplio espectro y uno de los más utilizados a nivel mundial. Este plaguicida se ha empleado para eliminar malezas en cultivos agrícolas del mundo (Baylis, 2000). El GF es también conocido comercialmente como Roundup®, el cual es de uso popular desde su comercialización en 1974, ya que se distribuye en más de 100 países por una gran variedad de fabricantes (Williams *et al.*, 2000).

La exposición a plaguicidas está normalmente asociada a efectos crónicos en la salud, lo cual reduce la calidad de vida (Dalvie *et al.*, 2003; Plenge-Tellechea and Vargas-Medrano, 2003). Además, el GF es el segundo agroquímico más utilizado en hogares y jardines del mundo, ya que se calcula que en casa y jardín se utilizan alrededor de 5 millones de litros por año y su mal manejo puede provocar la intoxicación del usuario (Garry *et al.*, 1989; Garry *et al.*, 1992; Kiely *et al.*, 2004). Múltiple evidencia científica ha demostrado que algunos OFs, tales como el diazinón, se acumulan en diversos tejidos lo que provoca alteraciones en la bioquímica normal de las células (Dikshith *et al.*, 1975, Castillo-Sosa, 2009). Por otra parte, se ha reportado que el GF puede ser nocivo para la salud ya que produce daños genéticos en sangre, hígado y riñones (Bolognesi *et al.*, 1997; Lioi *et al.*, 1998a; Peluso *et al.*, 1998). Aun más, se ha demostrado que los OFs inhiben la síntesis de proteínas y con ello se refrenda el modelo de acción de los OFs, de manera que pueden afectar múltiples vías bioquímicas (Marinovich *et al.*, 1994).

Normalmente los OFs, aunque son miscibles con agua, suelen ser moléculas con cierta tendencia hidrofóbica y pueden alterar la actividad enzimática de algunas proteínas funcionales de membrana, tal como la ATPasa dependiente de Ca^{2+} y Mg^{2+} de membrana plasmática de eritrocito de cerdo, donde se ha reportado que algunos OFs interactúan directamente con la enzima o membrana plasmática a la cual se encuentra anclada la ATPasa (Blasiak, 1995). Estos compuestos con cierta tendencia hidrofóbica actúan directamente

sobre regiones no polares de proteínas, que son regiones en las proteínas de membrana que se encuentran en contacto con los lípidos de la membrana plasmática. Este tipo de interacción modifica la actividad enzimática de múltiples proteínas de membrana, incluyendo la de diversas ATPasas (Antunes-Madeira and Madeira 1990).

Figura 1. Estructura química del organofosforado glifosato ($C_3H_8NO_5P$) (Fuente: PubChem Substance ID 3496)



Sobre el efecto de GF hacia las enzimas podemos destacar: acetilcolinesterasas, lactato deshidrogenasa, aspartato aminotransferasas, alanina aminotransferasas, fosfatasa alcalina, complejos mitocondriales y glucosa 6-fosfato deshidrogenasa (Lioi *et al.*, 1998b; El-Demerdash *et al.*, 2001; Peixoto, 2005). Los eritrocitos humanos poseen mecanismos bioquímicos muy específicos para mantener bajos sus niveles de Ca^{2+} intracelular. Entre los que se destacan, la permeabilidad de membrana plasmática, el transporte pasivo de Ca^{2+} y los múltiples mecanismos intracelulares vinculados a la unión de Ca^{2+} (Roufogalis, 1979). Sin embargo, el Ca^{2+} libre del citoplasma de las células es regulado a través de una bomba de Ca^{2+} (Carafoli, 1991). Estructuralmente, la ATPasa dependiente de Ca^{2+} de membrana

plasmática (PMCA) es una proteína de membrana con 10 dominios transmembranales, los cuales son utilizados para anclarse a la membrana plasmática y poseen como característica particular ambos extremos amino y carboxilo orientados hacia el citoplasma. PMCA fue purificada por primera vez en 1979 de membranas de eritrocito y más tarde fue reconstituida en su forma funcional (Niggli *et al.*, 1979a; Penniston *et al.*, 1988). PMCA regula pequeñas concentraciones de Ca^{2+} citosólico mediante la expulsión de Ca^{2+} hacia el medio extracelular mediante la hidrólisis de ATP. Diversas fuentes afirman que PMCA mantiene la concentración de Ca^{2+} citosólico alrededor de 100 nM (Carafoli, 1991). PMCA puede a su vez ser estimulada por una pequeña proteína citosólica de alta afinidad por Ca^{2+} denominada calmodulina (CaM) (Lynch and Cheung, 1979; Niggli *et al.*, 1979a), por fosfolípidos ácidos o proteólisis (Benaim *et al.*, 1984).

Según la literatura, la mayoría de los estudios demuestran que CaM y PMCA interactúan con una estequiometría 1:1 y 2:1 en estudios realizados con enzima (PMCA) purificada (Hinds and Andreasen, 1981; Niggli *et al.*, 1982; Carafoli, 1991). CaM interactúa directamente con el carboxilo terminal de PMCA produciendo un aumento en la velocidad de reacción enzimática (V_{max}) que propicia una disminución de la K_m para el sustrato fosforilante (Carafoli, 1991). Debido a ello, proporciona mayor afinidad por Ca^{2+} y aumenta el transporte de Ca^{2+} hacia el medio extracelular, disminuyendo los niveles de Ca^{2+} libre en el citoplasma. Solo en muy pocos casos se ha establecido una relación entre un efecto sobre PMCA y una patología (Nicotera *et al.*, 1989; Mody and MacDonald, 1995). Genéticamente, se ha demostrado por medio de algunos modelos de ratones transgénicos carentes de la expresión de PMCA4, que la ausencia de esta enzima no repercute en el fenotipo, sin embargo, los ratones son infértiles y algunas de sus células tienen tendencias de apoptosis (Okunade *et al.*, 2004).

Seleccionamos la membrana de eritrocito humano como un sistema modelo *in vitro* debido a la ausencia de otras ATPasas transportadoras de Ca^{2+} que pudieran intervenir con el estudio. Recientemente publicamos evidencia donde se observa que el GF estimula la hidrólisis del ATP por PMCA (Vargas-Medrano *et al.*, 2011), sin embargo, se desconoce el mecanismo mediante el cual afecta la actividad hidrolítica de esta enzima. Las evidencias indican que GF representa un riesgo a la salud pública, por lo que son necesarios más estudios para evaluar estos riesgos. Mediante una metodología bioquímica *in vitro*, estudiamos cómo es que el glifosato estimula la actividad enzimática de PMCA en su forma nativa o en presencia de su activador fisiológico CaM, la cual induce un cambio conformacional prominente en PMCA. Por primera vez se propone mediante un modelo sencillo una contribución al mecanismo de acción del GF sobre PMCA.

Materiales y métodos

Reactivos químicos. El glifosato (glyphosate-ammonium) (CAS: 1071-83-6), adenosina 5'-trifosfato (ATP), $MgCl_2$, K_2HPO_4 y calmodulina de cerebro bovino (CaM) fueron adquiridos en Sigma-Aldrich (México). $CaCl_2$ grado analítico fue adquirido en J. T. Baker (México). Otros reactivos empleados en esta investigación fueron de grado reactivo.

Material biológico. Membranas plasmáticas de eritrocitos humanos fueron purificadas de paquetes caducos de sangre humana y fueron donados por el Hospital General de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Extracción de membranas fantasmas de eritrocito humano. El procedimiento de extracción de membrana plasmática libre de calmodulina y hemoglobina se llevó a cabo en cuarto refrigerado a 4 °C, de acuerdo al método descrito por Niggli *et al.* (1979a). Al final del procedimiento, las membranas plasmáticas de eritrocito se resuspendieron en Mops- K^+ 10 mM, pH 7.4 (~300 mg de proteína de membrana

total). Las membranas (fantasmas) fueron almacenadas en alícuotas de 1 ml en un congelador a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Determinación de la concentración total de proteína. En los experimentos realizados se utilizaron concentraciones constantes de proteína total indicada propiamente en cada uno de los experimentos. La concentración de proteína total de las membranas plasmáticas se determinó mediante el método colorimétrico descrito por Lowry *et al.* (1951). Como estándar se utilizó albúmina de suero bovino.

Actividad enzimática específica de PMCA. La actividad hidrolítica de PMCA se realizó mediante un método colorimétrico, donde se cuantificó la aparición de fosfato inorgánico (P_i) liberado durante la hidrólisis del ATP por PMCA. Este procedimiento fue descrito por Lanzetta *et al.* (1979). El agente estabilizante Sterox se sustituyó por Tween 20 al 0.18% (v/v), tal como describen Baykov *et al.* (1988). La reacción enzimática se desarrolló a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un medio que contenía: Mops 30 mM (pH 7.2), KCl 130 mM, $MgCl_2$ 3 mM, EGTA 0.5 mM, $CaCl_2$ 0.5 mM (Ca^{2+} libre 10 μM), 0.12 mg prot/ml y CaM 2 $\mu\text{g/ml}$ cuando se indica. Las reacciones enzimáticas se iniciaron tras adicionar ATP 1 mM al medio de reacción. Para las medidas dependientes de ATP se utilizaron concentraciones en el intervalo de 0.001-10 mM. Las concentraciones utilizadas del GF fueron de 0.05-0.5 mM. Los análisis estadísticos se realizaron por medio del programa Sigma Plot versión 11. Todos los experimentos se reportan como media \pm error estándar de tres experimentos independientes. La ecuación de Michaelis-Menten ($v = V_{max} [S] / K_m [S]$) se cargó en el programa computacional Sigma-Plot para el posterior análisis de cinética enzimática de nuestros experimentos.

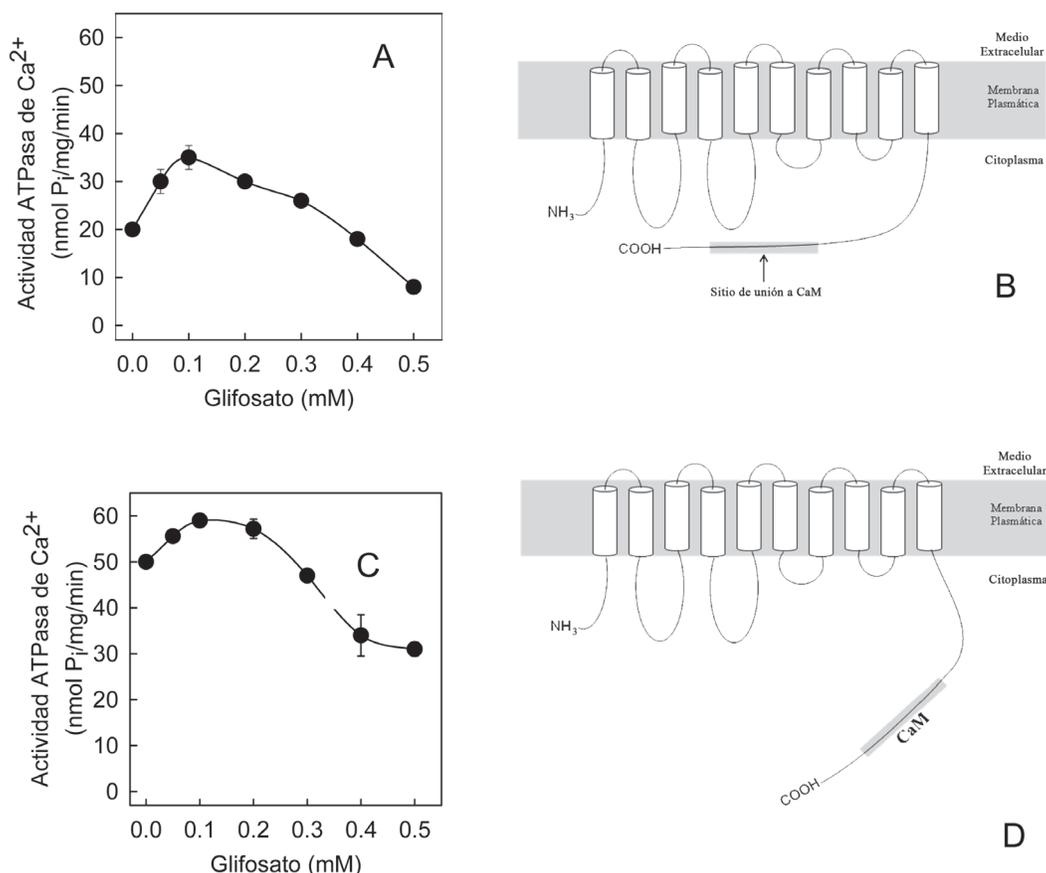
Determinación de Ca^{2+} libre en el medio. La concentración de 10 μM de Ca^{2+} libre en el medio proveniente de la adición de $CaCl_2$, y la cantidad apropiada de $CaCl_2$ fue determinada mediante el programa computacional *Cacium* (Fabiato and Fabiato, 1979). Este programa computa-

cional calcula el valor constante de estabilidad del complejo Ca^{2+} -EGTA (Schwartzbach *et al.*, 1957), el equilibrio de protonación del EGTA (Blinks *et al.*, 1982) y la presencia de otros ligandos como las concentraciones de ATP, Ca^{2+} y el pH del medio de reacción. De esta forma es posible realizar experimentos con una concentración constante de Ca^{2+} libre en el medio.

Resultados

El glifosato fue capaz de afectar al complejo CaM-PMCA, pero a menor escala que a la conformación nativa de la enzima. En este trabajo evaluamos el efecto del herbicida organofosfado GF sobre la actividad hidrolítica de la ATPasa dependiente de Ca^{2+} de membrana plasmática de eritrocito humano (PMCA, isoforma 4b), valorando colorimétricamente la aparición de P_i liberado por la hidrólisis de ATP durante el ciclo de reacción enzimático. Iniciamos los experimentos partiendo de la conformación nativa de la enzima (Figura 2B) o en su conformación activa por CaM (Figura 2D). La actividad enzimática de la Ca^{2+} -ATPasa se determinó en un medio de reacción que contenía: Mops 30 mM (pH 7.2), KCl 130 mM, $MgCl_2$ 3 mM, EGTA 0.5 mM, $CaCl_2$ 0.5 mM (Ca^{2+} libre 10 μM), 0.12 mg prot/ml y CaM cuando se indica (Figura 2). Cuando la actividad se mide en presencia de CaM usualmente se observa una estimulación con un incremento de 2.5 a 3 veces, que puede variar según la partida de extracción de membranas (~ 50 nmol P_i /min y mg de proteína, ver Figuras A y C). A continuación pasamos a estudiar el efecto de GF sobre la enzima PMCA de eritrocito. En presencia de GF 0.1 mM la actividad hidrolítica de la conformación nativa de PMCA fue estimulada en 62.5% sobre el control sin GF (Figura A), mientras que a concentraciones más elevadas de GF a partir de 0.4 mM, causó un perfil de inhibición de la actividad hidrolítica de PMCA progresiva y monofásica al aumentar la concentración del plaguicida (Figura 2A).

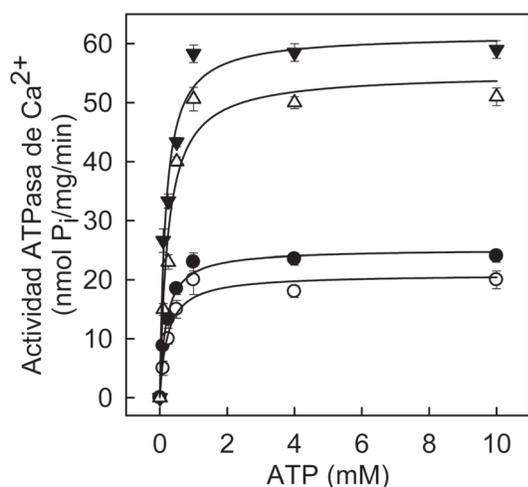
Figura 2. Curvas de dosis-respuesta donde se demuestra el efecto del glifosato sobre dos conformaciones enzimáticas de PMCA. La actividad hidrolítica de PMCA fue estudiada tanto en su forma conformacional nativa (sin CaM) (A y B) o en su forma conformacional CaM-PMCA (C). CaM induce un pronunciado cambio conformacional en PMCA (D) teniendo como principal característica un sitio catalítico más expuesto y por lo tanto, mayor actividad enzimática. Diferentes concentraciones de glifosato fueron tituladas en contra de la actividad hidrolítica de PMCA. Estos resultados dan evidencia de que el glifosato fue capaz de estimular en menor grado al complejo PMCA-CaM, lo que puede sugerir una menor sensibilidad al compuesto en presencia de CaM. Cada punto en la grafica representa la media \pm error estándar de 3 experimentos independientes.



El perfil de estimulación-inhibición fue distinto cuando los experimentos se realizaron en presencia de CaM. En este caso, la actividad del complejo CaM-PMCA mostró cierta protección frente a la inhibición y solo hubo una estimulación promedio de la actividad enzimática del 20% con 0.1 mM de GF (Figura 2C). Es importante destacar el hecho de que a la forma nativa de PMCA, al igual que al complejo CaM-PMCA, fueron igualmente inhibidos a alrededor del 40% con GF 0.5 mM; esta concentración fue la más alta titulada en nuestros experimentos, evidenciando que el complejo CaM-PMCA fue menos sensible al efecto estimulador por GF.

El glifosato incrementó la hidrólisis de ATP, pero sin afectar la afinidad del ATP por la enzima en su conformación nativa. Para determinar el efecto de GF sobre la afinidad del enzima por ATP, estudiamos la actividad frente a la concentración del sustrato fosforilante en la forma nativa y en el complejo PMCA-CaM. Para los experimentos se utilizó una concentración fija de GF 0.05 mM. La actividad enzimática en presencia de CaM exógena aumenta al elevar la concentración de ATP, alcanzando un perfil de saturación, que se da cuando la enzima alcanza su velocidad máxima de reacción (Δ). La actividad de la enzima también

Figura 3. El glifosato significativamente incrementa el máximo nivel de hidrólisis de ATP por PMCA pero sin afectar la K_m . La actividad Ca^{2+} -ATPasa tipo PMCA fue estudiada a una concentración constante de 0.05 mM glifosato y titulado por separado varias concentraciones de ATP (0.001-10 mM). Estos valores de concentración se tabularon frente a la actividad enzimática. El efecto de glifosato fue estudiado en la conformación nativa de PMCA (●) o en el complejo PMCA-CaM (▼). Las figuras blancas muestran los experimentos control sin glifosato en ambas formas conformacionales: nativa (○) y PMCA-CaM (△). Los valores de cinética enzimática fueron computados mediante la ecuación de Michaelis-Menten y los resultados se muestran en el Cuadro 1. Cada punto en las gráficas representa la media \pm error estándar, $n=3$. * $p=0.035$ comparado a la actividad enzimática sin glifosato. El GF solo incrementó significativamente la velocidad de hidrólisis del ATP de la conformación nativa de PMCA.



muestra un perfil de saturación cuando se incluye una baja concentración de GF (0.05 mM) en el medio de reacción (▼). Perfiles similares de saturación se observan en la forma nativa de la enzima (círculos blancos y negros). Con estos resultados calculamos los valores de V_{max} y K_m (Cuadro 1). Interesantemente, el GF incrementó significativamente la velocidad máxima de hidrólisis del ATP (V_{max}) de 20.9 ± 1.5 a 24.6 ± 0.9 , pero solo para la conformación nativa de PMCA, no así para el complejo PMCA-CaM, aunque GF fue capaz de estimular la V_{max} de 55 ± 3 a 61 ± 2 , este incremento no fue significativo. Estos resultados se verificaron mediante una prueba t de Student ($\alpha=0.05$) y el valor p se muestra en el correspondiente pie de figura. Cabe resaltar que no encontramos evidencia estadística de que hubiera diferencias

significativas entre los valores de K_m en los experimentos realizados con GF y sin GF en PMCA, tanto en su conformación nativa o para el complejo PMCA-CaM, lo que demuestra que GF no afecta la afinidad del ATP por PMCA. Nuestros resultados demuestran que GF solo incrementa la velocidad de hidrólisis del ATP por PMCA en su conformación nativa bajo las condiciones antes descritas.

Discusión

Recientemente describimos que el GF puede afectar la actividad hidrolítica de PMCA, sin embargo, quedó la interrogante sobre su mecanismo de acción sobre la enzima (Vargas-Medrano *et al.*, 2011). Un mecanismo de regulación sobre PMCA ampliamente estudiado, es el efecto estimulador ocasionado por la unión a calmodulina (CaM), el cual sucede cuando CaM se une al extremo carboxilo de PMCA (Carafoli, 1991), lo cual desenmascara el sitio de unión al ATP, propiciando una mayor eficiencia de transporte de Ca^{2+} por la bomba de Ca^{2+} (Figura 2D). Por ello, nuestro objetivo en este trabajo fue contribuir al conocimiento del mecanismo por el cual GF afecta la actividad de PMCA estudiando dos formas conformacionales típicas de la enzima: en su forma nativa (sin CaM) o en el complejo activo CaM-PMCA. Se han reportado muchos efectores asociados a CaM que son estimuladores de la actividad hidrolítica así como del transporte de Ca^{2+} (Benaim *et al.*, 1994). Muchos de ellos, sin embargo, solo proporcionan datos sobre el incremento de la afinidad de la enzima por Ca^{2+} y/o incrementan su máxima velocidad en la misma medida obtenida en presencia de CaM (Rega and Garrahan, 1986; Carafoli, 1991). En el presente trabajo demostramos que el GF estimuló la actividad ATPasa de Ca^{2+} nativa logrando un valor aproximado al obtenido en presencia de CaM, por lo menos del 40-60% si se compara con el control en presencia de CaM (Figuras 2A y 2C). Mediante la titulación de múltiples concentraciones de GF (0.05-0.5 mM) observamos un efecto de dosis-respuesta. Esto

significa que las diferentes medidas ensayadas con GF, produjeron un efecto de estimulación e inhibición sobre la actividad hidrolítica de PMCA en ausencia del activador biológico CaM (Figs. 2A y 2B), las concentraciones de 0.05 a 0.1 mM de GF estimularon la hidrólisis del ATP, mientras que las concentraciones más elevadas del GF (0.4-0.5 mM) causaron una inhibición progresiva sobre la hidrólisis del ATP. Se ha demostrado que la presencia de moléculas orgánicas que provocan estimulación de la actividad en PMCA, intervienen con el C-terminal de la enzima y/o por la interacción con los fosfolípidos de la membrana y la región hidrófoba de la proteína, lo cual se confirma con los estudios realizados sobre el efecto del etanol que promueve la estimulación de la actividad PMCA de eritrocito humano de forma similar que la activada por CaM (Benaim *et al.*, 1994), donde el aumento en el grado de activación fue asociado a la afinidad de la enzima por Ca^{2+} y ATP que provocaron el aumento de la V_{max} . Aunque ellos concluyen que este incremento fue debido a que el etanol como solvente orgánico posiblemente interfiera con el calcio disuelto. En principio discuten que la presencia del orgánico podría afectar la estructura de la enzima pero también la aparente afinidad de la enzima por sus ligandos y al sistema de amortiguamiento del Ca^{2+} , así como cambios locales en el ambiente lipídico que afecta la fluidez de la membrana. En otro trabajo realizado por Benaim y de Meis (1989) sobre el efecto de solventes orgánicos como dimetilsulfóxido, glicerol, etilenglicol y polietilenglicol sobre la PMCA de eritrocito humano, observaron que estos simulan los efectos de activación por CaM o por fosfolípidos ácidos, llegando a la conclusión de que incrementan la afinidad por Ca^{2+} y el número de ciclos catalíticos de la enzima. Estos efectos fueron promovidos por interacciones hidrofóbicas a lo largo de la molécula de enzima. Los efectos de solventes orgánicos sobre la PMCA de membrana de eritrocito difieren de los descritos en la ATPasa de Ca^{2+} de retículo sarcoplásmico (SERCA), ya que la afinidad por Ca^{2+} no se modifica (Benaim and de Meis, 1989).

Diversos trabajos realizados en SERCA sobre el fenómeno de activación causado por diversas moléculas orgánicas como el TCS (3,3',4',5-Tetrachlorosalicylanilide) (Wakabayashi *et al.*, 1988), observaron un aumento en la velocidad del ciclo catalítico por la isomerización del estado conformacional E_1PCa_2 hacia el estado E_2PCa_2 propiciando un aumento del transporte de Ca^{2+} .

En los experimentos control que realizamos en presencia de CaM, la estimulación de la actividad hidrolítica de PMCA fue de ~150% sobre el control sin CaM (Figura 2C). De acuerdo con la literatura, CaM se une a PMCA con una estequiometría de unión de 1:1, ello produce en la enzima mayor afinidad por el Ca^{2+} lo que incrementa la V_{max} en la hidrólisis del ATP (Hinds and Andreasen, 1981). CaM induce cambios en la K_d aparente del Ca^{2+} de 30 μ M a 1 μ M, lo que permite un incremento en el transporte de Ca^{2+} (Carafoli, 1991). En nuestros experimentos, obtuvimos un doble incremento sobre la velocidad de hidrólisis del ATP (V_{max} de 20.9 ± 1.5 sin CaM a 61 ± 2 con CaM).

Sorpresivamente, cuando titulamos varias concentraciones de GF (0.05-0.5 mM) el efecto estimulador de GF sobre el complejo activo CaM-PMCA fue menor que el producido sobre la conformación nativa de la enzima, ello respecto a su control que no contenía GF (Figura 2C). Sin embargo, concentraciones de 0.25-0.5 mM también inhibieron parcialmente la actividad enzimática de PMCA. Ello por una parte nos puede reafirmar lo dicho con anterioridad, donde GF esté actuando como un activador similar a CaM, de ahí que el bajo aumento causado en el complejo CaM-PMCA por GF nos sugiere que la enzima se encuentra saturada, es decir ha alcanzado un valor cercano a su V_{max} y no se puede extender considerablemente como en la ausencia de CaM. Por otro lado, el trabajo de Benaim y de Meis (1989) nos muestra en un sistema similar de PMCA de eritrocito pero en presencia de dimetilsulfóxido en el medio, donde este minimizó la activación por CaM, lo cual podría ser nuestro caso sobre el complejo

CaM-PMCA en presencia de GF, es decir, que GF esté causando un efecto similar al de dimetilsulfóxido en presencia de CaM.

Después de haber analizado detenidamente el efecto de GF sobre la hidrólisis de ATP mediada por PMCA, proseguimos a analizar el efecto del GF sobre la afinidad del sustrato de PMCA. Cabe mencionar que el ATP es el sustrato fosforilante de PMCA y es la fuente química de energía de esta enzima para realizar su función de transporte de Ca^{2+} . Para ello titulamos diferentes concentraciones del sustrato sobre la actividad hidrolítica de PMCA, a una concentración constante de GF en el medio de reacción (Figura 3, ▼ ●). Posteriormente, implementamos la ecuación de Michaelis-Menten y calculamos los valores de V_{max} y K_m . Los resultados de este cómputo se presentan resumidos en el Cuadro 1 para fines comparativos.

Cuadro 1. Valores de cinética enzimática en ausencia y presencia de glifosato.

Tratamiento	V_{max} (nmol P_i /mg/min)	K_m (mM)
PMCA	20.9 ± 1.5	0.20 ± 0.07
PMCA + GF	24.6 ± 0.9*	0.17 ± 0.03
PMCA-CaM	55 ± 3	0.20 ± 0.05
PMCA-CaM + GF	61 ± 2	0.10 ± 0.03

Como ya comentamos anteriormente, CaM provoca un incremento de la V_{max} de PMCA (Hinds and Andreasen, 1981) y en consecuencia, el aumento del ciclo catalítico de la PMCA de membrana de eritrocito que involucra un estado de reacciones parciales, que incluyen un proceso de alta afinidad por Ca^{2+} situado de la superficie extramembranal (E_1), que promueve la unión e hidrólisis de ATP y lleva a un proceso de fosforilación denominado transición conformacional de fosfoproteína de alta energía (E_1CaP) y su posterior descenso de afinidad por Ca^{2+} creando un estado de más baja energía (E_2CaP) que promueve el

transporte del ion y un proceso de desfosforilación (E_2P) (Allen *et al.*, 1987; Carafoli, 1991, Herscher and Rega, 1996). Podríamos pensar que GF favorece la aceleración de un estado conformacional de alta energía a uno de menor energía E_2CaP , que explique el proceso de activación, mas en PMCA no sucede así, este tipo de aceleración conformacional de alta a baja energía se da comúnmente en la activación causada por solventes en la Ca^{2+} -ATPasa de retículo sarcoplásmico (Wakabayashi *et al.*, 1988). En nuestro caso, normalmente el complejo CaM-PMCA produjo mayor hidrólisis de ATP que la forma nativa de PMCA (sin CaM), sin embargo, la afinidad del ATP fue la misma para ambas formas conformacionales en presencia de GF respecto a los controles sin el químico, al no haber diferencias significativas entre dichos valores (Cuadro 1).

Se ha reportado que PMCA en presencia de Mg^{2+} tiene un K_m de baja afinidad de 145 y 180 μ M dependiendo del grupo de investigación que lo reporte (Richards *et al.*, 1978; Mualem and Karlsh, 1979). En nuestros experimentos obtuvimos valores de K_m de 0.20 ± 0.07 mM y 0.2 ± 0.05 mM para PMCA y CaM-PMCA respectivamente; dichos valores muy cercanos al valor previamente reportado de 180 μ M (Mualem and Karlsh, 1979). Sin embargo, fue sorprendente observar que el GF incrementara significativamente los valores de la V_{max} solo para la conformación nativa de PMCA. Lo anterior, valida nuestros experimentos en los que la unión de CaM a PMCA, no modifica la afinidad (K_m) pero sí la velocidad del ciclo catalítico, reflejado en un incremento en la V_{max} . Ello podría ser porque CaM se encuentra ocupando mismo mecanismo por el cual GF estimula a PMCA, aunque no necesariamente tiene que ser el mismo sitio de unión. Así que cuando GF es añadido a la reacción enzimática, GF no estimuló, ya que esta vía estimuladora estaba siendo utilizada por CaM. Este mismo fenómeno no sucede en PMCA sin CaM, donde GF puede estimular la V_{max} significativamente.

Respecto del efecto dual de activación e inhibición, Jones y Lee (1986) proponen un modelo en donde las moléculas con cierta tendencia hidrofóbica que inducen un efecto dual (estimulan e inhiben) es debido a que interactúan o se unen en sitios no anulares en la proteína de membrana (interacciones proteína-proteína). De esta forma se puede asumir que lo mismo pudiera pasar con la actividad enzimática de PMCA. Por otro lado, el proceso de inhibición se puede deber a la unión de los compuestos, tales como el GF, a sitios anulares en la proteína de membrana (lípidoproteína). Sin embargo, y desde nuestro conocimiento, no se habían encontrado estudios de este efecto dual causado por GF en la actividad de PMCA de eritrocito humano. Otra posibilidad del efecto estimulador de PMCA por GF puede ser a través de la modulación de las interacciones entre monómeros de PMCA, lo cual evidencian la estimulación de la actividad enzimática mediante un proceso de oligomerización (Kosk-Kosicka and Bzdega, 1988).

La literatura indica que los estudios llevados a cabo sobre el efecto y las implicaciones del GF en el hombre y animales son insuficientes (Williams *et al.*, 2012), incluyendo químicamente al GF libre de surfactantes y demás componentes de la fórmula, lo cual es discutido en términos del contenido que acompaña al plaguicida es la fracción potencialmente tóxica (Bradberry *et al.*, 2004; Williams *et al.*, 2012). Es por ello que en nuestro trabajo utilizamos GF de grado analítico de estándar, con el fin de eliminar posibles disturbios ocasionados por los aditivos que suelen contener las fórmulas comerciales. Estudios llevados a cabo con GF evidencian que puede ser tóxico para humanos debido a que afecta la funcionalidad de diferentes enzimas cruciales para el metabolismo de la célula, como la inhibición de sus actividades enzimáticas, de manera que es tóxico para las células (Peixoto, 2005). Debido a esta evidencia, asumimos que la inhibición de la actividad

enzimática en PMCA por GF puede ser tóxico para la célula y los tejidos, ya que PMCA es una de las principales proteínas reguladoras de Ca^{2+} en eritrocitos y la única enzima que regula concentraciones citoplasmáticas de Ca^{2+} acoplado la hidrólisis de ATP para la translocación y salida del ion de la célula. Realizamos este estudio con CaM, debido a que es el principal activador bioquímico de PMCA en este sistema, y que además es una proteína de gran interés fisiológico para las células, simultáneamente las dos proteínas co-participan regulando niveles elevados de Ca^{2+} intracelular (Carafoli, 1991). CaM se activa por Ca^{2+} , y a su vez responde activando múltiples vías metabólicas dentro de la célula, incluyendo vías de fosforilación a través de quinasas dependientes de CaM (Shenolikar *et al.*, 1979) o en nuestro caso, estimulando la actividad enzimática de PMCA para mantener la homeostasis del Ca^{2+} en esta célula del eritrocito humano (Pérez-Gordones *et al.*, 2009) que es de suma importancia.

Conclusión

En conclusión, GF incrementó la velocidad máxima de la hidrólisis del ATP (V_{max}) de forma significativa, en PMCA en su forma nativa (sin unión a CaM). Sin embargo, GF no afectó significativamente al complejo CaM-PMCA. Proponemos que GF podría estimular a PMCA incrementando la velocidad el ciclo catalítico de PMCA, en una manera similar a la propuesta por la unión a CaM (Carafoli, 1991). Para ello, se requiere estudiar el ciclo catalítico de PMCA en presencia de GF y analizar si hay un efecto sobre la velocidad en las etapas de fosforilación y descomposición dentro del ciclo catalítico de PMCA. Además, sería interesante estudiar si el efecto de GF incide en alguna forma sobre la afinidad y transporte de Ca^{2+} en PMCA unida a CaM o sin CaM. Ya que si GF pudiera estar imitando el efecto de CaM en PMCA, sin duda, podría estar afectando la afinidad por el Ca^{2+} y el transporte, pudiendo ocasionar disturbios en la homeostasis celular del Ca^{2+} .

Agradecimientos

Agradecemos a los fondos otorgados por el CONACYT-Gobierno del estado de Chihuahua, México, proyecto de investigación CHIH-2006-C01-57268. Agradecemos también las valiosas sugerencias de los revisores de nuestro trabajo de investigación.

Literatura citada

- ALLEN, B. G., S. Katz, and B. D. Roufogalis. 1987. Effects of Ca^{2+} , Mg^{2+} and calmodulina on the formation and decomposition of the phosphorylated intermediate of the erythrocyte Ca^{2+} -stimulated ATPase. *Biochem. J.* 244:617-623.
- ANTUNES-MADEIRA, M. C., and V.M. Madeira. 1990. Membrane fluidity as affected by the organochlorine insecticide DDT. *Biochim. Biophys. Acta* 1023(3):469-74.
- BAYKOV, A.A., O.A. Evtushenko, and S.M. Avaeva S.M. 1988. A malachite green procedure for orthophosphate determination and its use in alkaline phosphatase-based enzyme immunoassay. *Analytical Biochemistry* 171(2):266-270.
- BAYLIS, A.D. 2000. Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. *Pest. Manag. Sci.* 56:299-308.
- BENAIM, G., and L. de Meis. 1989. Activation of the purified erythrocyte plasma membrane Ca^{2+} -ATPase by organic solvents. *FEBS Lett.* 244(2):484-486.
- BENAIM, G., V. Cervino, C. Lopez-Estraño, and C. Weitzman. 1994. Ethanol stimulates the plasma calcium pump from human erythrocytes. *Biochim. Biophys. Acta.* 1195:141-148.
- BENAIM, G., M. Zurini, and E. Carafoli. 1984. Different conformational states of the purified Ca^{2+} -ATPase of the erythrocyte plasma membrane revealed by controlled trypsin proteolysis. *J. Biol. Chem.* 259(13): 8471-8477.
- BLASIAK, J. 1995. Inhibition of erythrocyte membrane ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$)-ATPase by the organophosphorus insecticides parathion and methylparathion. *Comp. Biochem. Physiol. C. Pharmacol. Toxicol. Endocrinol.* 110(2):119-125.
- BLINKS, J.R., W.G. Wier, P. Hess, and Prendergast F.G. 1982. Measurement of Ca^{2+} concentrations in living cells. *Prog. Biophys. and Mol. Biol.* 40(1-2):1-114.
- BOLOGNESI, C., S. Bonatti, P. Degan, E. Gallerani, M. Peluso, R. Rabboni, P. Roggieri, and A. Abbondandolo. 1997. Genotoxic activity of glyphosate and its technical formulation Roundup. *J. Agric. Food Chem.* 45(5):1957-1962.
- BRADBERRY, S. M., M. Sally, A. T. Proud, and V. J. Allister. 2004. Glyphosate poisoning. *Toxicol. Rev.* 23:159-167.
- CARAFOLI, E. 1991. Calcium pump of the plasma membrane. *Physiol. Rev.* 71(1):129-53.
- CASTILLO-SOSA, Y., A. Sierra-Fonseca, A. Martínez-Martínez, and F. Plenge-Tellechea. 2009. Efecto del diazinón sobre el cultivo de linfocitos de sangre periférica de humano. *Tecnociencia Chihuahua.* 3(2):97-106.
- DALVIE, M.A., E. Cairncross, A. Solomon, and L. London. 2003. Contamination of rural surface and ground water by endosulfan in farming areas of the Western Cape, South Africa. *Environ. Health* 2(1):1-15.
- DIKSHITH, T.S., J.R. Behari, K.K. Datta, and A.K. Mathur. 1975. Effect of diazinon in male rats. Histopathological and biochemical studies. *Environ. Physiol. Biochem.* 5(5):293-299.
- EL-DEMERDASH, F.M., M.I. Yousef, and I. E.I. Elagamy. 2001. Influence of Paraquat, Glyphosate, and Cadmium on the Activity of Some Serum Enzymes and Protein Electrophoretic Behavior (In Vitro). *J. Environ. Sci. Health B.* 36(1):29-42.
- FABIATO, A., and F. Fabiato. 1979. Calculator programs for computing the composition of the solutions containing multiple metals and ligands used for experiments in skinned muscle cells. *J Physiol* 75(5):463-505.
- GARRY, V., T. Danzl, R. Tarone, J. Griffith, J. Cervenka, L. Krueger, J. Whorton, and R.L. Nelson. 1992. Chromosome rearrangements in fumigant applicators: possible relationship to non-Hodgkin's lymphoma risk. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 1(4):287-91.
- GARRY, V.F., J. Griffith, T.J. Danzl, R.L. Nelson, E.B. Whorton, L.A. Krueger, and J. Cervenka. 1989. Human genotoxicity: pesticide applicators and phosphine. *Science* 246(4927):251-255.
- HERSCHER, C. J., and A. F. Rega. 1996. Pre-State kinetic study of the mechanism of inhibition of the plasma membrane Ca^{2+} -ATPase by lanthanum. *Biochem.* 35(47): 14917-14922.
- HINDS, T.R., and T.J. Andreassen. 1981. Photochemical cross-linking of azidocalmodulin to the ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$)-ATPase of the erythrocyte membrane. *J. Biol. Chem.* 256(15): 7877-7882.
- JONES, O., and A. Lee. 1986. Effect of pyrethroids on the activity of a purified (Ca^{2+} - Mg^{2+})-ATPase. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 25:420-430.
- KIELY, T., D. Donaldson, and A. Grobe. 2004. Pesticide industry sales and usage, 2000 and 2001 market estimates: U.S. Environmental Protection Agency.
- KOSK-KOSICKA, D., and T. Bzdega. 1988. Activation of erythrocyte Ca^{2+} -ATPase by either self-association or interaction with calmodulin. *J. Biol. Chem.* 263:18184-18189.
- LANZETTA, P., L. Álvarez, P. Reinach, and O. Candia. 1979. An improved assay for nanomole amounts of inorganic phosphate. *Anal. Biochem.* 100(1):95-7.
- LIOI, M., M. Scarfi, A. Santoro, R. Barbieri, O. Zeni, F. Salvemini, D. Di Bernardino, and M. Ursini. 1998a. Cytogenetic damage and induction of pro-oxidant state in human lymphocytes exposed in vitro to glyphosate, vinclozolin, atrazine, and DPX-E9636. *Environ. Mol. Mutagen.* 32(1):39-46.
- LIOI, M., M. Scarfi, A. Santoro, R. Barbieri, O. Zeni, D. Di Bernardino, and M. Ursini. 1998b. Genotoxicity and oxidative stress induced by pesticide exposure in bovine lymphocytes cultures in vitro. *Mutat. Res.* 403(1-2):13-20.
- LOWRY, O.H, N.J. Rosebrough, A.L. Farr, and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193(1):265-275.
- LYNCH, T.J., and W.Y. Cheung. 1979. Human erythrocyte (Ca^{2+} - Mg^{2+})-ATPase: mechanism of stimulation by Ca^{2+} . *Arch. Biochem. Biophys.* 194(1): 165-170.
- MARINOVICH, M., M. Guizzetti, and C.L. Galli. 1994. Mixtures of benomyl, pirimiphos-methyl, dimethoate, diazinon and azinphos-methyl affect protein synthesis in HL-60 cells differently. *Toxicology* 94(1-3):173-185.
- MODY, I., and J.F. MacDonald. 1995. NMDA receptor-dependent excitotoxicity: The role of intracellular Ca^{2+} release. *Trends in Pharmacological Sciences* 16(10):356-359.
- MUALEM, S., and S.J. Karlish. 1979. Is the red cell calcium pump regulated by ATP? *Nature* 277(5693):238-240.
- NICOTERA, P., H. Thor, and S. Orrenius. 1989. Cytosolic-free Ca^{2+} and cell killing in hepatoma 1c1c7 cells exposed to chemical anoxia. *FASEB* 3(1):59-64.
- NIGGLI, V., J.T. Penniston, and E. Carafoli. 1979a. Purification of the (Ca^{2+} - Mg^{2+}) ATPase from Human Erythrocyte Membranes using a Calmodulin Affinity Column. *J. Biol. Chem.* 254(20):9955-9958.
- NIGGLI, V., E.S. Adunyah, B.F. Cameron, E.A. Bababunmi, and E. Carafoli. 1982. The Ca^{2+} - pump of sickle cell plasma membranes. Purification and reconstitution of the ATPase enzyme. *Cell Calcium* 3(2):131-151.
- OKUNADE, G. W., M.L. Miller, G.J. Pyne, R.L. Sutliff, K.T. O'Connor, J.C. Neumann, A. Andringa, D.A. Miller, V. Prasad, T. Doetschman, R.J. Paul, and G.E. Shull. 2004. Targeted ablation of plasma membrane Ca^{2+} -ATPase (PMCA) 1 and 4 indicates a major housekeeping function for PMCA1 and a critical role in hyperactivated sperm motility and male fertility for PMCA4. *J. Biol. Chem.* 279(32):33742-33750.

- PEIXOTO, F. 2005. Comparative effects of the Roundup and glyphosate on mitochondrial oxidative phosphorylation. *Chemosphere* 61(8):1115-1122.
- PELUSO, M., A. Munnia, C. Bolognesi, and S. Parodi. 1998. 32P-postlabeling detection of DNA adducts in mice treated with the herbicide Roundup. *Environ. Mol. Mutagen.* 31(1):55-9.
- PENNISTON, J.T. A.G. Filoteo, C.S. McDonough, and E. Carafoli 1988. Purification Reconstitution and Regulation of Plasma Membrane Ca^{2+} Pumps. *Methods in Enzymology* 157:340-351.
- PÉREZ-GORDONES, M. C., M. R. Lugo, M. Winkler, V. Cervino, and G. Benaim. (2009). Diacylglycerol regulates the plasma membrane calcium pump from human erythrocyte by direct interaction. *Arch. Biochem. Biophys.* 489:55-61.
- PLENGE-TELLECHEA, L.F., and J. Vargas-Medrano, J. (2003). Efecto tóxico de los plaguicidas agrícolas sobre la relajación muscular. Estudio de la Ca^{2+} -ATPasa de retículo sarcoplásmico (SERCA). *Ciencia en la Frontera* 1(1):75-79.
- REGA, A. F., and P. J. Garrahan. 1986. In the Ca^{2+} pump of plasma membranes (Rega, A. F. and Garrahan, P. J., eds.), *CRC Press*, Boca Raton.
- RICHARDS, D.E., A.F. Rega, and P.J. Garrahan. 1978. Two classes of site for ATP in the Ca^{2+} -ATPase from human red cell membranes. *Biochim. Biophys. Acta* 511(2):194-201.
- ROUFOGALIS, B. D. 1979. Regulation of calcium translocation across the red blood cell membrane. *Can. J. Ohysiol. Pharmacol.* 57(12):1331-1349.
- SCHWARTZENBACH, G., H. Senn, and G. Anderegg. 1957. Komplexe. XXIX. Ein grosser Celateffekt besonderer. *Helv. Chim. Acta* 40:1886-1900.
- SHENOLIKAR, S., T. W. Cohen, P. Cohen, A. C. Nairn, and V. Perry. 1979. The role of calmodulin in the structure and regulation of phosphorylase kinase from rabbit skeletal muscle. *Eur. J. Biochem.* 100(2):329-337.
- VARGAS-MEDRANO, J., J. A. Sierra-Fonseca, M. Arellano-Carrillo, and F. Plenge-Tellechea. 2011. Cypermethrin, deltamethrin and glyphosate affect the activity of the Ca^{2+} -ATPase from human erythrocyte. *Tecnociencia Chihuahua* 5(3):121-131.
- WAKABAYASHI, S., T. Ogurusu, and M. Shigekawa. 1988. Mechanism for 3,3',4',5'-Tetrachlorosalicylanilide-induced activation of sarcoplasmic reticulum ATPase. *J. Biol. Chem.* 263.15304-15312.
- WILLIAMS, G.M., R. Kroes, and I.C. Munro. 2000. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 31:117-165.
- WILLIAMS, A. L., R. E. Watson, and J. M. DeSesso. 2012. Developmental and reproductive outcomes in humans and animals after glyphosate exposure: a critical analysis. *J. Toxicol. Environ. Health, Part B: Crit. Rev.* 15(1):39-96. 

Este artículo es citado así:

Arellano-Carrillo, M., J. Vargas-Medrano, J. A. Sierra-Fonseca y F. Plenge-Tellechea. 2012: *El plaguicida glifosato incrementa la V_{max} de la Ca^{2+} -ATPasa de membrana plasmática de eritrocito humano sin afectar su afinidad (K_m) por el sustrato.* *TECNOCENCIA Chihuahua* 6(2): 101-111.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

MANUEL DAVID ARELLANO CARRILLO. En el año 2009 obtuvo el grado de Licenciado en Biología en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez con el tema de tesis: Interacción de plaguicidas sobre la actividad enzimática de la ATPasa de Ca^{2+} de eritrocito humano (PMCA). Además, el biólogo ha participado en diversos congresos nacionales e internacionales entre los que destacan varios congresos nacionales de bioquímica y uno organizado por la American Chemical Society. Los trabajos de investigación donde ha colaborado se han publicado en diversas revistas tales como en la revista *Ciencia en la Frontera*. Actualmente, el biólogo culminó sus estudios en la Maestría con Orientación Genómica en la UACJ donde evaluó el efecto de deltametrina sobre la expresión de diversos genes en Linfocitos T humanos e imparte la cátedra de Bioquímica en la citada Universidad.

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

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

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

Fosfatasa alcalina (E.C.3.1.3.1): bioquímica y aplicaciones en las ciencias biomédicas, ecológicas y alimentarias

Alkaline phosphatase (E.C.3.1.3.1): biochemistry and applications in biomedical, environmental and food sciences

GILBERTO MERCADO-MERCADO¹, NORMA L. DUARTE-MUÑOZ¹,
EMILIO ÁLVAREZ-PARRILLA¹, LAURA A. DE LA ROSA¹ Y ABRAHAM WALL-MEDRANO^{1,2}

Recibido: Marzo 26, 2012

Aceptado: Junio 7, 2012

Resumen

Las fosfatasas alcalinas (FAI; E.C.3.1.3.1) son una superfamilia de metaloenzimas homodiméricas que hidrolizan mono ésteres orto fosfóricos unidos a nucleótidos, proteínas y muchos otros sustratos, a pH entre 8-11 y en presencia de iones Zn^{+2} y Mg^{+2} . Se inhiben con Be^{++} , Fe^{++} , Cu^{++} y varios poli aniones. Varios estudios han confirmado su carácter pleiotrópico, pero nuevos estudios estructurales, cinéticos y genéticos revelan nuevos roles metabólicos y funcionales. La concentración de FAI total y/o isoenzimas, ha sido explotada como marcador de varios fenómenos biológicos en ciencias biomédicas (e.g. funcionalidad renal, hepática y ósea), ambientales (e.g. fosfatos en suelo marino y su remoción de aguas residuales), zoología (e.g. ciclos de fertilidad en aves) y alimentos (e.g. pasteurización de la leche). Como herramienta analítica, seguirán dando pie al desarrollo de varias técnicas inmuno enzimáticas, para beneficio de las ciencias biológicas.

Palabras clave: fosfatasa alcalina, cinética enzimática, biomedicina, ciencias ambientales, ciencias alimentarias.

Abstract

The alkaline phosphatases (AP) are a superfamily of homodimeric metalloenzymes (E.C.3.1.3.1) that hydrolyze orthophosphoric monoesters linked to nucleotides, proteins and many other substrates, at pH 8-11 and in the presence of Zn^{+2} and Mg^{+2} ions. They are inhibited by Be^{++} , Fe^{++} , Cu^{++} and several anions. Several studies have confirmed their pleiotropic nature, but new structural, kinetic and genetic studies reveal novel metabolic and functional characteristics. Total AP concentration and/or isoenzyme quantification, has been exploited as a marker of several biological phenomenon in biomedical sciences (e.g. renal, hepatic and bone functionality), environmental (e.g. phosphate in the seafloor and its removal from wastewater), zoology (e.g. fertility cycles in birds) and food sciences (e.g. milk pasteurization). As an analytic tool, will give rise to the development in various immune enzymatic techniques for the benefit of the life sciences.

Keywords: alkaline phosphatase, enzyme kinetics, biomedicine, environmental sciences, food sciences.

Introducción

Producto de la concepción estructura-afinidad implícita a los modelos tradicionales «llave-cerradura» de Emil Fisher o «encaje inducido» de Daniel Koshland y a las propuestas de algunos otros enzímólogos estructurales, tradicionalmente a las enzimas se les ha visto como proteínas catalíticas altamente sustrato-específicas, siguiendo el dogma histórico de «una enzima, una actividad».

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez - Instituto de Ciencias Biomédicas. Anillo Envolvente del Pronaf y Estocolmo s/n. Tels. +52 (656) 688-1800, Fax (656) 688-1821. Ciudad Juárez. Chihuahua, México. 32300.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: awall@uacj.mx.

Sin embargo, diariamente aparecen nuevos estudios que cuestionan estos preceptos, a la luz de nuevas herramientas en bioquímica estructural y a la construcción de nuevo conocimiento sobre el legado de los primeros enzimólogos como Pasteur, von Liebig y Kühne. Ahora se sabe, por ejemplo, que hay enzimas cuyo control biológico radica en su afinidad gradual por diversos sustratos (Panosian *et al.*, 2011), que son dispuestas en ambientes más o menos convenientes para su actividad catalítica (Zhang *et al.*, 2005), que pueden intercambiar su estructura cuaternaria (Hawrylak y Stinson, 1998) e incluso llevar a cabo reacciones de primer o segundo orden a conveniencia (Van Loo, 2010), o incluso exhibir «promiscuidad» enzimática (López-Canut *et al.*, 2011).

El aprendizaje sobre estas y otras características de una enzima en particular, da cuenta no solo de su complejidad estructural y eficiencia metabólica, sino también de su posición en la escala evolutiva. Tal es el caso de la superfamilia de las fosfatasas alcalinas (FAI), enzimas con actividad pleiotrópica distribuidas ampliamente en todos los seres vivos (Coleman, 1992; Zalatan *et al.*, 2008) y que han sido explotadas como indicadores biológicos en diversas disciplinas químico-biológicas.

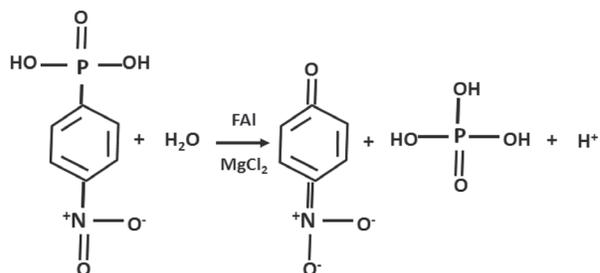
Nomenclatura y cinética enzimática de las FAI

Las FAI son metaloenzimas homodiméricas que hidrolizan fosfatos unidos a nucleótidos, proteínas, y muchos otros sustratos (Koutsioulis *et al.*, 2010), a pH entre 8 y 11 y en presencia de iones Zn^{+2} y Mg^{+2} (Zalatan *et al.*, 2008) y ocasionalmente de Co^{+2} (Chen *et al.*, 2008; Koutsioulis *et al.*, 2010). Su reacción catalítica se da en dos pasos: en el primero de ellos genera un intermediario covalente de fosfoserina y en el segundo se da un ataque nucleofílico (en medio acuoso o alcohólico) para liberar un fosfato inorgánico y un nuevo fosfoéster o especie libre (Koutsioulis *et al.*, 2010). Su nombre sistemático es fosfohidrolasa monoéster ortofosfórica (E.C.3.1.3.1) y debido a la gran cantidad de

reacciones en donde se les ve involucradas, se les considera una superfamilia (van Loo *et al.*, 2010). Por esta razón, frecuentemente son sub clasificadas en grupos, por organismo y por sustrato utilizado (Brenda, 2011).

Sustratos. Tanto las fosfatasas ácidas (FAC) como las FAI, catalizan la hidrólisis del *p*-nitrofenil-fosfato, a un compuesto (*p*-nitrofenol) que absorbe a los 405 nm de longitud de onda (Figura 1). Esta reacción generalmente ha sido explotada con fines analíticos, en estudios cinéticos y de identificación de FAI aisladas de nuevas fuentes naturales (Wild-type) y modificadas (mutantes). Así, se han reportado diversos grados de afinidad por este sustrato (*K_m*) que van desde 1×10^{-8} mM y 0.265 mM en organismos como *Escherichia coli* (Atyaksheva *et al.*, 2008) y bovinos (Barcena-Ruiz *et al.*, 2007) hasta 5.0 o 50.0 mM en isoenzimas humanas (Kihn *et al.*, 1991).

Figura 1. Reacción de catálisis del *p*-nitrofenol-fosfato por la fosfasa alcalina. Fuente: elaboración propia.



Neuman (1968) evaluó la afinidad por fosforotioatos O- y S-substituidos de las FAI de *Escherichia coli*, de riñón y glándula prostática bovina y las FAC de papa y germen de trigo, en solución saturada de MgCl₂ (7×10^{-3} M). El cisteamin-S-fosfato [*K_m* entre 9.4×10^{-5} mM (*E. coli*) y 2.4×10^{-4} mM (Bovina)] fue hidrolizado por las FAI, el O-*p*-nitrofeniltiofosfato lo fue por la FAC de papa (2.4×10^{-4} mM) y el *p*-nitrofenil fosfato por las dos, básicamente a las mismas velocidades reportadas con los sustratos hidrolizados en forma individual. Por último, algunas FAI catalizan preferentemente reacciones de trans fosforilación en presencia de aceptores de

fosfatos (Koutsioulis *et al.*, 2010; Kozlenkov *et al.*, 2002) mientras que otras son muy específicas a un solo sustrato (Xie *et al.*, 2010).

Cofactores. Para que una FAI pueda ser activada, se necesita de cationes divalentes. Ejemplos de estos son el Mg^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} y Co^{2+} (Xie *et al.*, 2010). A nivel celular, la FAI necesita de los iones Mg^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , cuando su actividad se da en el citoplasma y a los demás iones se les ha involucrado en la actividad de FAI de membranas. A mayor concentración disponible de estos iones, mayor es la actividad de la enzima, salvo para el caso del Zn^{2+} con el que se observa una acción inversa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de la concentración (mM) de cationes en la actividad ($\mu M/min$) de la fosfatasa alcalina (FAI).

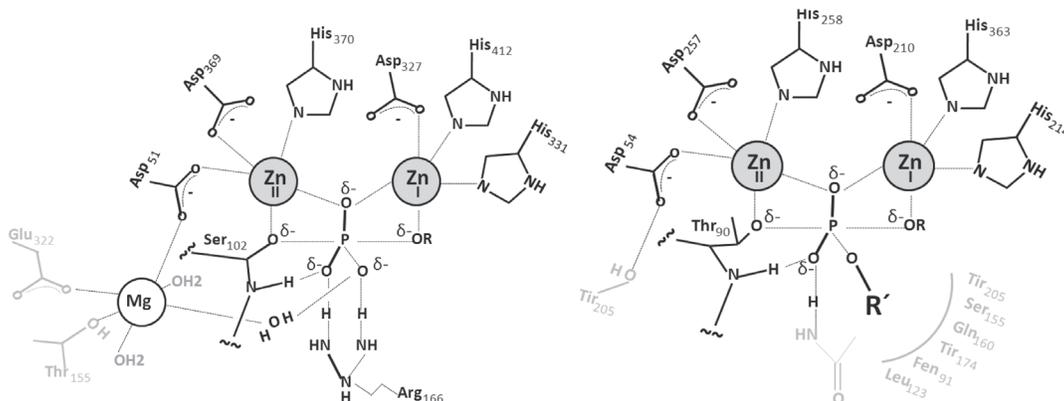
Cación	Concentración (mM)			
	0	0.5	2.5	5.0
Mg ²⁺	100	102.3	108.6	119.1
Zn ²⁺	100	88.7	78.6	71.2
Ca ²⁺	100	104.7	104.2	113.6
Mn ²⁺	100	138.6	132.9	124.5
Co ²⁺	100	115.8	133.5	135.9
K ⁺	100	101.5	104.6	143.8
Na ⁺	100	102.6	103.2	103.4
Ni ²⁺	100	109.3	101.9	108.2
Pb ²⁺	100	136.3	262.2	235.7
Cr ⁶⁺	100	139.1	261.5	267.9

Fuente: Xie *et al.*, 2010.

En casi todas las FAI de las que se ha elucidado completamente su estructura, se involucra la coordinación de dos iones Zn (Zn_1 - Zn_2 , separados a 3.9 Å en FAI bacterianas) y uno de Mg (a 4.9 y 7.1 Å de cada átomo de Zn) en la vecindad del centro activo (Coleman, 1992; Figura 2). En la primera etapa de hidrólisis, el Zn_1 coordina el oxígeno del enlace ester ortofosfórico, mientras que Zn_2 lo hace durante la hidrólisis del intermediario fosfoseril (Coleman, 1992). Los datos reportados por Xie *et al.* (2010) sugieren una cooperatividad entre estos iones que parece favorecer el ambiente electropositivo necesario para la hidrólisis de grupos fosfato y la perfecta conformación de la FAI para realizar la catálisis.

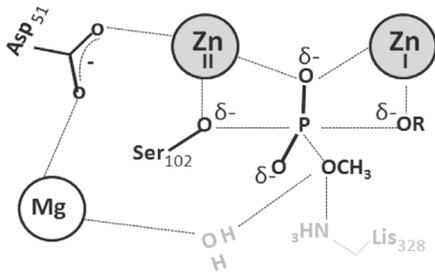
Más aún, la «promiscuidad» para hidrolizar fosfomono- o fosfodiésteres observada en algunos miembros de la superfamilia de las FAI (O'Brien y Herschlag, 2001) es consecuencia de las interacciones establecidas entre algunos residuos de aminoácidos del centro activo (e.g. Lys328 en FAI de *E. coli*), los átomos de oxígeno del grupo fosfato y el agua de coordinación asociada al ion Mg^{2+} (Figura 3). El Co^{2+} es el único metal que puede sustituir al zinc en forma dosis y pH dependiente, aunque también puede sustituir al Mg^{2+} (Chen *et al.*, 2008). Esta sustitución disminuye la actividad de algunas FAI bacterianas (e.g. *E. coli*) pero en otras la aumenta (e.g. *Bacillus subtilis* y *Thermotoga*

Figura 2. Iones involucrados en el centro activo de dos representantes de la superfamilia FAI. FAI de *Escherichia coli* (izquierda) y Nucleótido pirofosfatasa/diesterasa de *Xanthomonas axonopodis* (derecha). Fuente: Zalatan *et al.*, 2008.



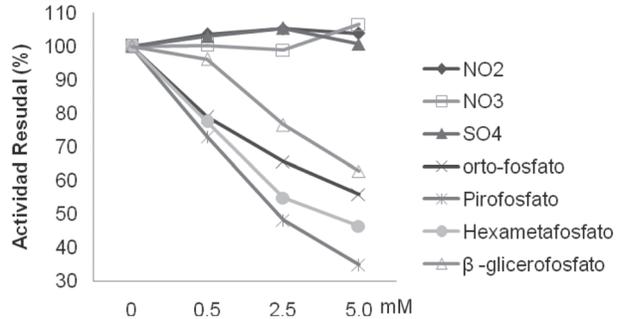
maritima) (Wang *et al.*, 2005). Sin embargo, resulta importante señalar que la afinidad por estos co factores, al menos para aquellas de origen humano, es órgano-específica (Butterworth, 1983). Por último, aunque no asociados estructuralmente de forma natural, existen otros cationes que aumentan la capacidad catalítica de las FAI dos a tres veces, como lo son el K^+ , Na^+ , Ni^{2+} , Pb^{2+} y el Cr^{6+} (Cuadro 1).

Figura 3. Fuerzas de coordinación involucradas en «promiscuidad catalítica» de la FAI de *Escherichia coli*. Fuente: López-Canut *et al.*, 2011.



Inhibidores. Existen varias formas de inhibir a las FAI con metales ionizados. Uno de ellos es el vanadio (V) cuyo efecto inhibitorio es atribuido a la formación de estados de transición análogos a las bipirámides trigonales (Holtz *et al.*, 1999). La estructura de los complejos con V es más parecida al estado de transición que muestran los grupos fosfato, y probablemente interaccionen más fuertemente con el sitio activo de la enzima (Marchand *et al.*, 2009). Otros cationes divalentes como berilio, plata, cobre y el estroncio, provocan efectos inhibitorios en la FAI (Koncki *et al.*, 2006; Llinas *et al.*, 2006). Además, el NO_2^- , NO_3^- y SO_4^{2-} parecen no tener una influencia significativa en la actividad de las FAI (Figura 4) mientras que otros aniones de fosfato tienen una influencia estero específica. Por último, las FAI de mamíferos difieren de las bacterianas en ciertas propiedades alostéricas y su susceptibilidad a la inhibición no competitiva por L-amino ácidos tales como fenilalanina, triptófano, homoarginina y leucina (Llinas *et al.*, 2006), aunque ciertos azúcares como la trehalosa, glucosa, fructosa y sacarosa pueden estabilizar a ciertas FAI (Sekiguchi *et al.*, 2012).

Figura 4. Efecto de los aniones, fosfatos y fosfatos orgánicos en la actividad de la FAI. Fuente: Chunsheng, 2010 (imagen elaboración propia).



Bioquímica estructural de la FAI

La *estructura primaria* de las FAI de las que ya se ha elucidado su estructura completa, demuestra una alta conservación entre especies. Un análisis de las secuencias revisadas y depositadas en Uniprot (<http://www.uniprot.org>) revela que su composición va de 407 (e.g. *Pseudomonas putrida*; Q50HR6) hasta 596 aa (e.g. *Drosophila melanogaster*, Q24238; Cuadro 2) y que su identidad estructural se conserva entre un 25 y 30% (Murphy y Kantrowitz, 1994) con una relación 2:1 de aminoácidos hidrofílicos:hidrofóbicos (Butterworth, 1983). Cabe señalar, sin embargo, que la sola sustitución por 2 His del Asp-153 y Lis-328, es la responsable del incremento en 20 a 30 veces más de las FAI de mamíferos vs las bacterianas (Murphy y Kantrowitz, 1994).

La *estructura secundaria* del sitio activo de la mayoría de las FA, consiste de dos cadenas de polipéptidos idénticos (homo dímero) que al plegarse, forma regiones con estructuras secundarias basadas principalmente en hélices alfa y vueltas beta, pero también algunas regiones plegadas sólidamente de espiral aleatoria. Debido a su naturaleza homo-dimérica, su peso molecular puede ir desde 35 000 (e.g. intestino de camello, Fahmy *et al.*, 2008) hasta los 494 000 KDa en células de linfoma de Hodgkin humano (Belland, 1993), dependiendo del organismo o tejido involucrado (Schillace y Scott, 1999; Luan *et al.*, 2003).

Cuadro 2. Residuos de aminoácidos de algunas FAI representativas.

	UNIPROT	AA	Gen asociado	Género/especie
Bacteriana	Q50HR6	407	N/D	<i>Pseudomonas putrida</i>
	P19406	461	phoA phoAIV BSU09410	<i>Bacillus subtilis</i>
	P19405	462	phoB phoAIII BSU05740	<i>Bacillus subtilis</i>
	P00634	471	phoA b0383 JW0374	<i>Escherichia coli</i>
Humano	P05187	535	ALPP (PLAP)	<i>Homo sapiens</i>
	P10696	532	ALPPL2	<i>Homo sapiens</i>
	P09923	528	ALPI	<i>Homo sapiens</i>
	PO5186	524	ALPL	<i>Homo sapiens</i>
Roedores	P08289	524	AlPi	<i>Rattus norvegicus</i>
	P24823	529	Akp5 Eap	<i>Mus musculus</i>
	P24823	559	lap Akp-3 Akp3	<i>Mus musculus</i>
Insectos	Q16JH5	558	AAEL013330	<i>Aedes aegypti</i>
	Q24238	596	N/D	<i>Drosophila melanogaster</i>

Fuente: <http://www.uniprot.org>. No disponible (N/D).

En algunas especies la FAI es una glicoproteína, puesto que se le han encontrado algunos glúcidos unidos a su molécula, en especial a la glucosa, fructosa, galactosa, manosa y fucosa, representando en muchos casos alrededor del 20% del peso de la molécula madura (Butterworth, 1983). Por último, las características de la estructura terciaria y cuaternaria así como la capacidad catalítica de las FAI, ha sido explotada para desarrollar técnicas para su identificación y cuantificación. Por ejemplo, la porción glicosilada, actividad catalítica y potencial antigénico de las isoformas de FAI humana (Seibel *et al.*, 2005) y de perro (Calderón-de la Barca *et al.*, 1993), ha permitido en desarrollo de técnicas inmunoradiométricas (IRMA por sus siglas), ensayos inmuno absorbentes ligados a enzimas (ELISA) y ensayos de precipitación o electroforesis con lectinas.

Genética y metabolismo

Para que una célula pueda sobrevivir a un ambiente dinámico e impredecible, ésta debe interpretar e integrar las señales extracelulares con los vectores de señal internos, los cuales deberán iniciar la transducción de señales que modifican el metabolismo intermediario y la regulación genética. Para el caso que nos ocupa, pese a que la reacción básica de la superfamilia de FAI se cumple en prácticamente todos los organismos y reinos, su participación metabólica difiere a razón de la complejidad del organismo y sus necesidades. Por ejemplo, la forma activa de la FAI de *E. coli*, generalmente se localiza en el peri plasma y se mantiene inactiva (reducida) en el citoplasma de células en crecimiento o cuando la condición de fosfatos es baja (Derman y Beckwith, 1995). En el caso de *Saccharomyces cerevisiae*, su FAI es

generalmente secretada al exterior de la célula en vesículas fabricadas en el citoplasma, las cuales se ponen en contacto con ciertos transportadores vacuolares implicados en la detoxificación de metales, de los que obtiene el zinc necesario para su actividad catalítica (Qiao *et al.*, 2009). Tanto en *E. coli* (Brocklehurst *et al.*, 1999) como *S. cerevisiae* (Eide, 2003) la homeostasis de zinc citoplasmático es controlada por la regulación pre y post-transcripcional, así como el funcionamiento de varios transportadores de entrada y salida para este ion divalente, regulando consecuentemente la actividad de FAI, junto con muchas otras metaloenzimas.

Las fosfatasa en plantas son muy semejantes a las de animales. Se han tenido varios registros acerca esta enzima con respecto a los vegetales. Por mencionar algunas de ellas, en el genoma de *Arabidopsis* existen 112 genes que probablemente codifiquen FAI; las cuales, la mayoría son fosfatasa del tipo 2C (PP2C) (de la subfamilia PPM), mientras que sólo una es específica de Tyr (Kerk *et al.*, 2002). Sin embargo, son las FAc las que más abundan en el reino vegetal y la mayoría no presentan una marcada especificidad de sustrato, y están involucradas en el aprovechamiento de los fosfatos orgánicos del suelo.

En humanos, hay cuatro tipos de isoenzimas: la no específica a tejido (TNAP, por sus siglas en inglés) que se encuentra en hueso, hígado y riñón y son codificadas por el cromosoma 1 (1p36.1-34; Llinas *et al.*, 2006). La isoenzima placentar (PLAP), la de células germinales (GCAP) y la intestinal (IAP), muestran una homología entre 90-98% pero se identifican entre su composición glicosilada (Seibel, 2005) y sus genes se ubican en el cromosoma 2 del humano (Orimo *et al.*, 2010). Mutaciones en los genes que codifican a TNAP provoca hipofosfatasa, una alteración rara familiar (Orimo *et al.*, 2010). Además, existen otras en neutrófilos, hueso y en secreciones como la leche (Butterworth, 1983). Mientras que

en la mayoría de los tejidos cada FAI se encuentra asociada a las membranas celulares con su centro y capacidad catalítica orientados al citoplasma, en los neutrófilos forma parte de los denominados fosfosomas. En adultos con función hepática normal, aproximadamente el 50% de la actividad de FAI detectada en el plasma corresponde a la isoenzima hepática, mientras que en niños y adolescentes el 90% corresponde a la isoenzima ósea (Seibel, 2005). Todas estas isoenzimas difieren en propiedades fisicoquímicas, antigénicas y catalíticas (Miao y Scutt, 2002) y también se pueden presentar otras formas atípicas: a) Fracción biliar (hepática rápida o alfa rápida), b) Neoplásica y c) De migración lenta (complejos moleculares de gran tamaño constituidos por la enzima y una molécula de IgG (Blake *et al.*, 1984; Banik, 2009).

Por último, Eguchi (1995) estudió dos isoenzimas (m-PA y s-PA) de la FAI en insectos. Al igual que en los humanos, estos isómeros fueron controlados por distintos genes de un mismo cromosoma. El estudio se realizó en distintos tejidos, bajo condiciones de alcalinidad y cadenas de azúcares. Los resultados mostraron que el 43% de la secuencia de aminoácidos a partir de cDNA de la m-PA, mostró homología con tres tipos de fosfatasa de humano. También, se da la conclusión que dichas isoenzimas son funcionalmente importantes en la conservación de los insectos, desde una perspectiva evolutiva.

FAI como marcador bioquímico

La FAI también ha sido una herramienta muy útil en el desarrollo de métodos en biología molecular, tales como las técnicas inmunoquímicas (Khatkhatay y Desai, 1999) y para la remoción de 5'-fosfatos de fragmentos de DNA (Koutsoulis *et al.*, 2010). Para reacciones de identificación de proteínas (Western Blot) en soportes poliméricos (e.g. nitrocelulosa) ha sido usada con bastante éxito debido a la estabilidad que presentan los cromógenos catalizados por FAI-acopladas a anticuerpos (Blake *et al.*, 1984).

En las últimas dos décadas, las FAI se han utilizado ampliamente en ensayos de inmuno absorción ligando a enzimas (ELISA), utilizando una sal disódica de *p*-nitrofenil fosfato (PNPP) como sustrato y un tampón de dietanolamina con ácido clorhídrico (0.1 M con pH 9.8) y cloruro de magnesio (Banik, 2009). Sin embargo, hoy por hoy se usan más los anticuerpos acoplados a otras enzimas (e.g. HRP) por conveniencia técnica.

FAI en biomedicina

Aparte de su aplicación como reactivo en numerosas pruebas inmuno histoquímicas, las diversas isoenzimas de la FAI han sido utilizadas como criterio diagnóstico de varias patologías desde ya hace muchos años. Por ejemplo, la inmuno detección de TNAP ha sido utilizada como marcador de remodelación ósea (Hoshi *et al.*, 1997; Millan *et al.*, 2006) mientras que la actividad de fosfatasa total en orina lo ha sido como marcador precoz de lesión tubular renal (Di Carlo *et al.*, 2007). Sin embargo, la sensibilidad de cada isoenzima para definir el funcionamiento normal y patológico del tejido al que pertenece, ha sido relegado a un segundo nivel diagnóstico en los últimos 20 años, previendo el mejoramiento en las técnicas de detección de otras bio moléculas que resultan mejores «marcadores». Por ejemplo, la FAI total plasmática ha quedado en desuso, dando paso a su isoforma ósea y más recientemente a otros marcadores más sensibles como la osteocalcina, la hidroxiprolina o la sialoproteína ósea (Seibel, 2005).

Aun así, el valor diagnóstico de la FAI sérica total todavía sigue siendo útil en la práctica clínica diaria como parte de las baterías diagnósticas óseas y hepáticas. Desde un punto de vista farmacológico, salve decir que existen numerosos compuestos orgánicos fosforilados que inhiben la acción de ciertas FAI asociadas a neoplasias como es el caso del poliestradiol fosfato en el cáncer de próstata (Xie *et al.*, 2007) y el polifloretil fosfato para enfermedades dérmicas, ambos son grandes inhibidores sobre esta enzima (Sorimachi, 1987).

FAI en Zoología

En principio, el valor de la FAI en las disciplinas de la biodiversidad tiene prácticamente el mismo fundamento y aplicación que en las ciencias biomédicas mencionadas anteriormente. Por ejemplo, la competencia estructural entre el vanadio y los grupos fosfato donadores mencionada anteriormente, ha sido señalada como el posible mecanismo hipoglicemiante observado tras la administración de vanadato a perros y ratas diabéticas (Kim *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2009).

La FAI también se ha estudiado en la conservación de distintos animales como marcador de su alimentación. En el estudio reportado por Nicolescu (2008) con el tucán real (*Ramphastos sulfuratus*), se observaron valores de FAI más elevados en hembras que en machos en época de ovulación, producto de la hipercalcemia que incrementa los niveles séricos de esta enzima. Cabe señalar que valores semejantes habían sido detectados en casos de infección por rickettsias, hepatitis herpesvirus, neoplasia y colestasis. Los autores recomendaron administrar dietas controladas en minerales para no alterar enzimas ni biomoléculas que el tucán real utilice a lo largo de su vida.

La FAI también ha sido estudiada en veterinaria clínica. Schlesinger (1995) estudió el efecto que contenía methamoglobinemia y anemia en perros a partir de la dosificación de la acetaminofen. En dicho estudio, a los perros se les administró seis a siete tabletas de acetaminofen de 500 mg para hacerles un análisis hematológico, en donde se encontró que la FAI fue incrementada conforme a los días transcurridos. En contraste, la actividad de la enzima en el sistema hepático fue disminuida ligeramente. Pizzani *et al.* (2008) observaron las concentraciones de fósforo fítico sobre la actividad de la FA en el epitelio intestinal de ovinos de cuatro meses de edad. Los animales fueron distribuidos en cuatro grupos de cuatro animales cada uno y fueron alimentos con alto contenido de fósforo fítico en proporciones de

0, 40, 60 y 80%, respectivamente. Los ovinos fueron sacrificados después de ayuno y se les realizó una punción en la vena yugular, e inmediatamente se les extrajo el intestino delgado. La actividad de la FA fue disminuida en el porcentaje de fósforo fítico del 80%. Esto se debió a que la superficie de las células del epitelio intestinal incrementa la actividad de esta enzima a partir de la flora intestinal.

Por último, la FAI se ha ido utilizando como indicador biológico de adaptación de insectos fitófagos. Yan *et al.* (2011) evaluaron la interacción de dos hemípteros (*Aleirodidae*) patógenos: *Bemisia tabaco* biotipo B y *Trialeurodes vaporarium*. Ellos teorizaron que *B. tabaco* tenía una capacidad fitofágica mayor que *T. vaporium* en parte debida a una mayor actividad de las isoenzimas de FAI. Sus hallazgos demostraron que la FAI de *T. vaporium* se adaptaba con mayor rapidez (respuesta a corto plazo) cuando se le cambiaba de un tipo de planta a otra, pero que *B. tabaco* tenía una mayor velocidad al largo plazo cuando se le dejaba en un mismo huésped vegetal.

FAI en ciencias ambientales

Las reacciones de fosforilación/defosforilación involucradas en la transducción de señales son muy importantes en la membrana plasmática de las células vegetales. Por ejemplo, la actividad de la H⁺-ATPasa está regulada por una fosforilación dependiente de Ca²⁺ y muchas cinasas de membrana son dependientes de este cofactor. Sin embargo, se han identificado muy pocas fosfatasas en ella. Hoy se sabe que la fosforilación se puede dar en forma reversible, lo cual modula muchos procesos celulares, incluyendo procesos del ciclo celular, respuesta a factores de crecimiento, hormonas y otros estímulos ambientales, control metabólico y procesos de desarrollo (Marchand *et al.*, 2009).

Por otra parte, la hidrólisis es un paso primario y a menudo limitante en los procesos de tratamiento de aguas residuales. La hidrólisis

enzimática de compuestos orgánicos en lodos activados en condiciones aeróbicas es más eficiente que la observada en condiciones anaeróbicas o en condiciones de anoxia. En particular, una gran proporción del fósforo total presente en las aguas residuales se encuentra en forma de compuestos orgánicos, por lo que las enzimas hidrolíticas presentes en los lodos activados aeróbicamente son críticas para la eficiente eliminación de fósforo durante el tratamiento de aguas residuales. En estos casos, la FAI y no la FAc, es la enzima indicada para degradar las especies orgánicas o-fosfóricas, mismas que se encuentra por ocurrencia natural. Sin embargo, los lodos también pueden tener cantidades importantes de iones divalentes (e.g. K⁺, Na⁺, Ca⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Al³⁺, Mn²⁺ y Ni²⁺) y aniones diversos (e.g. o-fosfato, pirofosfato, hexametáfosfato y β-glicerofosfato) que pueden afectar seriamente la actividad de la FAI presente (Luan *et al.*, 2003).

La actividad de FAI en rizosferas y suelos también ha sido propuesta como indicadores de fertilidad de suelos y/o de su nivel de contaminación. En el primer caso, el cooperativismo entre especies fúngicas y/o bacterias y la rizosfera asociada a plantas como la manzana tropical (*Solanum viarum*; Hemashenpagam y Selvaraj, 2011) o soya (*Glycine max*, Ramesh *et al.*, 2011) ha sido monitoreado, como parte de otros indicadores bioquímicos, mediante la actividad de FAI en el suelo. Para el segundo caso se ha evaluado el nivel de FAI en suelos contaminados con compuestos organoclorados (Gao *et al.*, 2012), herbicidas a base de sulfonilureas (Sofa *et al.*, 2012) o metales pesados como el mercurio (Tazisong *et al.*, 2012), cuya presencia la carga y metabolismo microbiano del suelo. Por último, la FAI se ha ido utilizando como bioindicador de la limitación de fósforo en sitio marítimo. Iriarte *et al.* (2006) observaron la importancia de la actividad enzimática de ensamblajes fitoplanctónicos como indicadores de su metabolismo y la relación que existía la FAI con la producción de nutrientes inorgánicos en la

Antártida. En dicho estudio se encontró que la actividad de la FAI tuvo una correlación negativa con las concentraciones de fósforo, esto indica que hay un déficit en la actividad de la enzima cuando existe un alto contenido del fósforo inorgánico en el fitoplancton.

FAI en ciencia de alimentos

La actividad de la FAI se ha utilizado en estudios de calidad e impacto metabólico de diversos alimentos. En el primer caso, se le ha utilizado como un indicador de eficiencia en la pasteurización de la leche, pues la presencia y metabolismo microbiano de bacterias de alta resistencia térmica como *Mycobacterium tuberculosis*, se debe interrumpir por encima de los 70 °C (Bárcena-Ruiz *et al.*, 2007; Banik, 2009; Payne y Wilbey, 2009) y en la respuesta y rendimiento del maíz, tras la exposición de este cultivo a fertilizantes y abonos (Álvarez-Solís, 2010). Por otro lado, en varios estudios se ha visto que el perfil nutrimental de algunos alimentos modifica la expresión y actividad de la fosfatasa alcalina, como es el caso de la respuesta diferencial al consumo de aceites de soya, coco, palma y pescado en ratas sanas (Wahnon *et al.*, 1992; Edem y Akpanabiatu, 2006) o sujetas a estrés xenobiótico (Rasmy *et al.*, 2011). Por último, la expresión y actividad de la FAI en respuesta a los antioxidantes del ajonjolí (Sharma *et al.*, 2012), ajo (Whang *et al.*, 2012) y uva (Shin *et al.*, 2010), ha dado cuenta de los efectos hepatoprotectores de estos ingredientes comunes en la cocina mexicana.

Conclusiones

Diversos integrantes de la superfamilia de fosfatasas alcalinas (FAI) han sido utilizados como marcadores de fenómenos biológicos en ciencias biomédicas (e.g. funcionalidad renal, hepática y ósea), ambientales (e.g. fosfatos en suelo marino y su remoción de aguas residuales), zoología (e.g. ciclos de fertilidad en aves) y alimentos (e.g. calidad de productos lácteos). En este artículo se han revisado solamente algunas de estas aplicaciones. Sin embargo, la elucidación día con día de nuevos

roles metabólicos, aspectos cinético-enzimáticos o estructurales incrementará el número y calidad de las investigaciones a nivel internacional. Por lo pronto, la FAI como marcador bioquímico, seguirá dando pie al desarrollo de varias técnicas inmuno enzimáticas, para beneficio de las ciencias químico-biológicas.

Literatura citada

- ÁLVAREZ-SOLÍS, J.D., Gómez-Velasco, D.A., León-Martínez, N.S., Gutiérrez-Miceli, F.A. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo del maíz. *Agrociencia* 44: 575-586.
- ATYAKSHEVA, L.F., Chukhrai, E.S. and Poltorak, O. M. 2008. The catalytic properties of alkaline phosphatases under various conditions. *Russ. J. Phys. Chem. A* 82: 1947-1951.
- BANIK, R. 2009. Selection of metals salts for alkaline phosphatase production using response surface methodology. *Food Res Int* 42: 470 – 475.
- BÁRCENA-RUIZ, J. A, García, A. C., Padilla-Peña, C.A., Martínez-Galisteo, E., Díez-Dapena, J. 2007. Caracterización Cinética de la fosfatasa. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Universidad de Córdoba.
- BELLAND, L., Visser, L., Poppema, S., Stinson, R. A. 1993. Characterization of the alkaline phosphatase expressed on the surface of a Hodgki's lymphoma cell line. *Enzyme Protein* 47(2): 73-82.
- BLAKE, M. S., Johnston, K. H., Russel-Jones J. and Gotschlich, E. C. 1984. A rapid, sensitive method for detection of alkaline phosphatase-conjugated anti-antibody on Western blots. *Anal Biochem* 136(1): 175-179.
- BRENDA. 2011. Comprehensive Enzyme Information System, [Online]: <http://www.brenda-enzymes.info/index.php4>. Consultada el 5 de Marzo del 2012.
- BROCKLEHURST, K. R., Hobman, J. L., Lawley, B., Blank, L., Marshall, S. J., Brown, N. L. & Morby, A. P. 1999. ZntR is a Zn(II)-responsive MerR-like transcriptional regulator of zntA in *Escherichia coli*. *Mol. Microbiol* 31(3): 893-902.
- BUTTERWORTH, P. J. 1983. Biochemistry of mammalian alkaline phosphatases. Alkaline phosphatase. *Cell Biochemistry and Function* 1(2): 66-70.
- CALDERON-DE LA BARCA, A. M., Jensen, A. L., Bog-Hansen, T. C. 1993. Affinity methods with lectins: a tool to identify canine alkaline phosphatase isoenzymes. *J Biochem Biophys. Methods* 27(3): 169-180.
- CHEN, F., Liu, G., Xu, Z. and Seng, Z. 2008. Effect of metal ions on the secondary structure and activity of calf intestine phosphatase. *BMB reports* 41(4): 305-309.
- COLEMAN, J. E. 1992. Structure and Mechanism of Alkaline Phosphatase. *Ann. Rev. Biophys. Biomol. Structure* 21: 441-483.
- DERMAN, A. L., Beckwith, J. 1995. *Escherichia coli* alkaline phosphatase localized to the cytoplasm slowly acquires enzymatic activity in cells whose growth has been suspended: a caution for gene fusion studies. *J. Bacteriol.*: 177(13): 3764-3770.
- DI-CARLO, M. B., Gomez, A. G., Madalena, L. B., Facio, M. L., Pizzolato, M. A. and Negri, G. A. 2007. Utilidad de la fosfatasa alcalina urinaria como marcador precoz de lesión tubular renal. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 41(3): 369-77.
- EGUCHI, M. 1995. Alkaline phosphate isozymes in insects and comparison with mammalian enzyme. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part B. Biochem. Molecular Biol.* 111(2):151-62.
- EIDE, D. J. 2003. Multiple regulatory mechanisms maintain zinc homeostasis in *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Nutr.* 133 (5 suppl 1): 15232S-5S.

- FAHMY, A. S., El-Badry, M.O., Zein, H.A., Shousha, W.G. and Mahdy, E. M. 2008. Purification and characterization of two alkaline phosphatases from camel small intestine. *Egypt. J. Biochem. Mol. Biol.* 26(1): 31-54.
- GAO, Y.F., Yang, H., Zhan, X.H., Zhou, L.X. 2012. Scavenging of BHCs and DDTs from soil by thermal desorption and solvent washing. *Environ Sci Pollut Res Int* Jun 2. [Epub ahead of print]
- HAWRYLAK, K and Stinson, R. A. 1998. The solubilization of tetrameric alkaline phosphatase from human liver and its conversion into various forms by phosphatidylinositol phospholipase C or proteolysis. *J. Biol. Chem.* 263(28): 14368-14373.
- HEMASHENPAGAM, N., Selvaraj, T. 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungus and plant growth promoting rhizomicroorganisms (PGPR's) on medicinal plant solanum viarum seedlings. *J Environ Biol* 32(5): 579-83
- HOLTZ, K. M., Stec, B. and Kantrowitz, E. R. 1999. A model of the transition state in the alkaline phosphatase reaction. *J. Biol. Chem.* 274(13): 8351-8354.
- HOSHI, K., Amizuka, N., Oda, K., Ikehara, Y. and Ozawa, H. 1997. Immunolocalization of tissue non-specific alkaline phosphatase in mice. *Histochem. Cell Biol.* 107(3): 183-191. Journal of Biological Chemistry www.jbc.org
- IRIARTE, J., Gonzalez RR, Quiñonez RA, Kang S-H, Shim JH, Valenzuela CP. 2006 Enzyme activities of phytoplankton in the South Shetland Islands (Antarctica) in relation to nutrients and primary production. *Rev Chil Hist Nat* 79(4): 505-516.
- KHATKATAY, M. I. and Desai, M. 1999. A comparison of performances of four enzymes used in ELISA with special reference to beta-lactamase. *J. Immunoassay* 20(3): 151-83.
- KERK, D., Bulgrien, J., Smith, D. W., Barsam, B., Veretnik, S. and Gribskov, M. 2002. The complement of protein phosphatase catalytic subunits encoded in the genome of Arabidopsis. *Plant Physiol.* 129(2): 908-925.
- KIM, J. M., Chung, J.Y., Lee, S. Y., Choi, E. W., Kim, M. K., Hwang, C. Y. and Youn, H. Y. 2006. Hypoglycemic effects of vanadium on alloxan monohydrate induced diabetic dogs. *Vet Sci.* 7(4): 391-395.
- KIHN, L., Rutkowski, D., Nakatsui, T. and Stinson, R. A. 1991. Properties of amphiphilic and hydrophilic forms of alkaline phosphatase from human liver Enzyme. 45(3): 155-164.
- KONCKI, R., Rudnicka, K. and Tymecki, K. 2006. Flow injection system for potentiometric determination of alkaline phosphatase inhibitors. *Anal. Chem. Acta.* 577(1): 134-9.
- KOZLENKOV, A., Manes, T., Hoylaerts, M. F. and Milan, J. L. 2002. Function assignment to conserved residues in mammalian alkaline phosphatases. *J. Biol. Chem.* 277(25): 22992-22999.
- KOUTSIOLIS, D., Lyskowski, A., Mäki, S., Guthrie, E., Feller, G., Bouriotis, V. and Heikinheimo, P. 2010. Coordination sphere of the third metal site is essential to the activity and metal selectivity of alkaline phosphatases. *Protein Science* 19(1): 75-84.
- LI, M., Ding, W., Smee, J. J., Baruah, B., Wilsky, G. R. and Crans, D. C. 2009. Anti-diabetic effects of vanadium (III, IV, V)-chlorodipicolinate complexes in streptozotocin-induced diabetic rats. *Biomaterials* 22(6): 895-905.
- LLINAS, P., Masella, M., Stigbrand, T., Ménez, A., Stura, E. A. and Le Du, M. H. 2006. Structural studies of human alkaline phosphatase in complex with strontium: Implication for its secondary effect in bones. *Protein Science* 15(7): 1691-1700.
- LOPEZ-CANUT, V., Roca, M., Bertran, J., Moliner, V. and Tuñon, I. 2011. Promiscuity in Alkaline Phosphatase Superfamily. Unraveling Evolution through Molecular Simulations. *J. Am. Chem. Soc.* 133 (31): 12050-12062.
- LUAN, S. 2003. Protein phosphatases in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 54: 63-92.
- MARCHANT, S., Merchiers, M., Messens, W., Coudijzer, K. and De Block, J. 2009. Thermal inactivation kinetic of alkaline phosphatase in equine milk. *International Dairy Journal* 19: 763-767.
- MIAO, D., Scutt, A., J. 2002. Histochemical localization of alkaline phosphatase activity in decalcified bone and cartilage. *Cytochem.* 50(3): 333-340.
- MILLAN, J. L. 2006. Mammalian alkaline phosphatases: from biology to applications in medicine and biotechnology. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. New York. 237-238p.
- MURPHY, J. E. and Kantrowitz, E. R. 1994. Why are mammalian alkaline phosphatases much more active than bacterial phosphatases? *Mol. Microbiol.* 12(3): 351-7.
- NEUMANN, H. 1968. Substrate selectivity in the action of alkaline and acid phosphatases. *J. Biol. Chem.* 243(18): 4671-4676.
- O'BRIEN, P.J., Herschlag, D. 2001. Functional interrelationships in the alkaline phosphatase superfamily: phosphodiesterase activity of *Escherichia coli* alkaline phosphatase. *Biochem.* 40(19): 5691-5699.
- ORIMO, H. 2010. The mechanism of mineralization and the role of alkaline phosphatase in health and disease. *J. Nippon. Med. Sch.* 77(1):4-12.
- PAYNE, C., Wilbey, A. 2009. Alkaline phosphatase in pasteurized milk: A quantitative comparison of Fluorophos and colourimetric procedures. *Int J Dairy Technol* 62(3): 308-314
- PANOSIAN, T.D., Nannemann, D. P., Watkins, G. R., Phelan, V. V., McDonald, W. H., Wadzinski, B. E., Bachmann, B. O. and Iverson, T. M. 2011. *Bacillus cereus* phosphopentomutase is an alkaline phosphatase family member that exhibits an altered entry point into de catalytic cycle. *J. Biol. Chem.* 286: 8043-8054.
- PIZZANI, P., Godoy S, León M, Rueda E, Castañeda MV, Arias A. 2008. Efecto de concentraciones crecientes de fósforo fitico sobre La actividad de la enzima fitasa y fosfatasa alcalina en el epitelio intestinal de ovinos jóvenes. *Rev Científica* 18(1): 59-64.
- QIAO, W., Eliis, C., Steffen, J., Wu, C. Y. and Eide, D. J. 2009. Zinc status and vacuolar zinc transporters control alkaline phosphatase accumulation and activity in *Saccharomyces cerevisiae*. *Mol. Microbiol.* 72(2): 320-4
- RAMESH, A., Sharma, S.K., Joshi, O.P., Khan, I.R. 2011. Phytase, phosphatase activity and p-nutrition of soybean as influenced by inoculation of bacillus. *Indian J Microbiol* 51(1): 94-9
- RASMY, G.E., Khalili, W.K.B, Mharib, S.A., Kawkab, A.A., Jwany, E.W. 2011. Efecto del aceite de pescado de la dieta en cáncer de colon inducido por dimetil hidrazina en ratas. *Grasas y aceites* 62(3): 253-267
- SEKIGUCHI, S., Hashida, Y., Yasakawa, K., Inouye, K. 2012. Stabilization of bovine intestine alkaline phosphatase by sugars. *Biosci Biotechnol Biochem* 76(1): 95-100
- SCHILLACE, R. V. and Scott, J. D. 1999. Organization of kinases, phosphatases, and receptor signaling complexes. *J. Clin. Invest.* 103: 761-765.
- SCHLESINGER, D.P. 1995. Metahemoglobinemia and anemia in a dog with acetoaminphen toxicity. *Can Vet J* 3:515-517
- SEIBEL, M. J. 2005. Biochemical markers of bone turnover: Part 1: biochemistry and variability. *Clin. Biochem.* 26(4): 97-122.
- SHARMA, A.K., Bharti, S., Bhatia, J., Nepal, S., Malik, S., Ray, R., Kumari, S., Arva, D.S. 2012. Sesamol alleviates diet-induced cardiometabolic syndrome in rats via up-regulating PPAR α , PPAR β and e-NOS. *J Nutr Biochem*, ahead of print.
- SHIN, M.O., Yoon, S., Moon, J.O. 2010. The proanthocyanidins inhibit dimethylnitrosamine-induced liver damage in rats. *Arch Pharm Res* 33(1): 167-73.
- SOFO, A., Scopa, A., Dumontet, S., Mazzatura, A., Pasquale, V. 2012. Toxic effects of four sulphonylureas herbicides on soil microbial biomass. *J Environ Sci Health* 47(7): 653-9
- SORIMACHI, K. 1987. Activation of alkaline phosphatase with Mg and Zn in rat Hepatoma Cells. *J. Biol. Chem.* 262(4): 1535-1541.
- TAZISONG, I.A., Senwo, Z.N., Williams, M.I. 2012. Mercury speciation and effects on soil microbial activities. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 47(6): 854-62

- VALENTÍN, N.I.R.A. 2008. Determinación de valores de referencia para hepatología, química sérica, fisiología y morfometría del tucán real (*Ramphastus sulfuratus*) en cautiverio en Guatemala. Tesis Profesional. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de San Carlos en Guatemala. 60p. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/10/10_1092.pdf
- VAN-LOO, B., Jonas, S., Babbie, A. C., Benjdia, A., Berteau, O., Hyvönen, M. and Hollfelder, F. 2010. An efficient, multiply promiscuous hydrolase in the alkaline phosphatase superfamily. *Proc Nat Acad Sci USA* 107(7): 2740-2745.
- WAHNON, R., Cogan, U., Mokady, D. 1992. Dietary fish oil modulates the alkaline phosphatase activity and not the fluidity of rat microvillus membrane. *J Nutr* 122: 1077-1084.
- WANG, J. Stieglitz, K. A. and Kantrowitz, E. R. 2005. Metal specificity is correlated with two crucial active site residues in *Escherichia coli* alkaline phosphatase *Biochemistry* 44(23): 8378-86.
- XIE, C. Lu, R., Huang, Y., Wang, Q. y Xu, X. 2010. Effects of ions and phosphates on alkaline phosphatase activity in aerobic sludge system. *Bioresource Technology* 101(10): 3394 – 3399.
- XIE, W. Nakabayashi, M. and Regan, M. M. and Oh, W. W. 2007. Higher prostate-specific antigen levels predict improved survival in patients with hormone-refractory prostate cancer who have skeletal metastases and normal serum alkaline phosphatase. *Cancer* 110(12): 2709-15
- YAN, Y., Peng, L., Liu, W-X., Wan, F-H., Harris, M.K. 2011. Host plant effects on alkaline phosphatase activity in the whiteflies, *Bemisia tabaci* biotype B and *Trialeurodes vaporariorum*. *J Insect Sci* 11(9): 1-13.
- ZALATAN, J. G., Fenn, T. D., Herschlag, D. 2008. Comparative enzymology in the alkaline phosphatase super family to determine the catalytic role of an active site metal ion. *J Mol Biol* 384(5): 1174-1189.
- ZHANG, C.L., Zeng, T., Zhao, X.L., Yu, L.H., Zhu, Z.P., Xie, K.Q. 2012. Protective effects of garlic oil on hepatocarcinoma induced N-nitrosodiethylamine in rats. *Int J Biol Sci* 8(3):363-74.
- ZHANG, L., Balcerzak, M., Radisson, J., Thouverey, C., Pikula, S., Azzar, G. and Buchet, R. 2005. Phosphodiesterase Activity of Alkaline Phosphatase in ATP-initiated Ca²⁺ and Phosphate Deposition in Isolated Chicken Matrix Vesicles *J. Biol. Chem.* 280: 37289–37296. 

Este artículo es citado así:

Mercado-Mercado, G., N. L. Duarte-Muñoz, E. Álvarez-Parrilla, L. A. De la Rosa y A. Wall-Medrano. 2012: *Fosfatasa alcalina (E.C.3.1.3.1): bioquímica y aplicaciones en las ciencias biomédicas, ecológicas y alimentarias*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 6(2):112-122.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

GILBERTO MERCADO MERCADO. Terminó su licenciatura en 2007, año en que le fue otorgado el título de licenciatura en Química, por el Instituto de Ciencias Químicas Biológicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Realizó su posgrado en Ciudad Juárez, Chihuahua; donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias (especialidad en Agroalimentaria) en el 2011. Desde el 2009 labora en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la UACJ y posee la categoría de Profesor Honorario en el Departamento de Bioquímica. Es autor de 4 artículos científicos en revistas indexadas como arbitradas; ha participado en diversos proyectos de investigación financiados por fuentes externas, incluyendo fondos sectoriales y mixtos CONACyT. Ha asistido a ponencias en congresos nacionales e internacionales, ha realizado estancias a Universidades nacionales financiado por DEFLIN y AMC. Ha asistido a cursos de actualización en el área de bioquímica, microbiología y alimentos.

NORMA LETICIA DUARTE MUÑOZ. Terminó su licenciatura en 1986, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Industrial en Química, por el Instituto Tecnológico de Chihuahua. Realizó su posgrado en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez; donde es candidato a Maestro en Ciencias Químico-Biológicas con especialidad en Ambiental. Actualmente labora en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la UACJ, como profesor honorario en el área de Química.

EMILIO ÁLVAREZ-PARRILLA. Terminó su licenciatura en 1992, año en que le fue otorgado el título de Licenciado en Oceanología por la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Realizó su posgrado en España, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ciencia e Ingeniería de Alimentos en 1995 por la Universidad Politécnica de Valencia y el grado de Doctor en Ciencias Químicas en el 2000 por la Universidad de Santiago de Compostela. Desde 2001 labora en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la UACJ y posee la categoría de Profesor Investigador de Tiempo Completo categoría C. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2001 (Nivel II a partir de 2011). Su área de especialización es fitoquímicos de alimentos y sus efectos benéficos sobre la salud. Ha dirigido 22 tesis de licenciatura y de maestría. Es autor de 28 artículos científicos, más de 40 ponencias en congresos, y 18 capítulos de libros científicos, y coeditor de 2 libros científicos; ha participado 18 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACyT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales) y proyectos internos de la Universidad de Colima y Universidad Autónoma de Baja California. Es árbitro de once revistas científicas de circulación internacional.

LAURA A. DE LA ROSA. Terminó su licenciatura en 1996, año en que le fue otorgado el título de Licenciada en Oceanología por la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Realizó su posgrado en España, donde obtuvo el grado de Doctor en Ciencias Biológicas en el área de Farmacología en 2001 por la Universidad de Santiago de Compostela. Desde 2002 labora en el Departamento de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) y posee la categoría de Profesor-Investigador titular C. Recientemente ha realizado una estancia sabática en el Departamento de Bioquímica de la Memorial University of Newfoundland, Canadá en el área de alimentos funcionales. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2002 (Nivel I). Actualmente trabaja en el área de caracterización química y actividad biológica de fitoquímicos obtenidos de productos alimenticios. Ha dirigido 13 tesis de licenciatura y 1 de maestría. Es autora de aproximadamente 25 artículos científicos en revistas internacionales, 9 capítulos de libro y co-editora de 2 libros científicos. Es evaluadora de proyectos de investigación del CONACyT y proyectos internos de la universidades Autónoma de Baja California, Autónoma de Chihuahua y Universidad de Colima.

ABRAHAM WALL-MEDRANO. Terminó su licenciatura en 1990, año en que le fue otorgado el título de Químico Farmacéutico Biólogo, por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG). Realizó su posgrado en Hermosillo Sonora, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias (especialidad en Nutrición Humana) 1999 y Doctor en Ciencias en el 2004, por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Desde el 2006 labora en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la UACJ y posee la categoría de Profesor Investigador de Tiempo Completo categoría C. Su área de especialización es nutrición humana y experimental. Ha dirigido más de 40 tesis de licenciatura y maestría. Es autor de 20 artículos científicos, más de 40 ponencias en congresos, y 10 capítulos de libros científicos; ha participado en diversos proyectos de investigación financiados por fuentes externas, incluyendo fondos sectoriales y mixtos CONACyT.

Desempeños profesionales percibidos en el egresado para su inserción en el campo laboral: caso UASLP-UAMZM

Professional performance perceived in the graduates for their insertion in the labor field: the case of UASLP-UAMZM

DAVID GÓMEZ-SÁNCHEZ^{1, 2}, BRISAIDA YARIT AMADOR-GUILLÉN¹,
HÉCTOR LÓPEZ-GAMA¹ Y RAMÓN GERARDO RECIO-REYES¹

Recibido: Abril 24, 2012

Aceptado: Julio 2, 2012

Resumen

El objetivo de este estudio es conocer los desempeños y competencias profesionales que el egresado necesita para insertarse en el campo laboral, y determinar su grado de importancia en la percepción de alumnos, egresados y profesores de la Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media (UAMZM) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y de los empleadores del municipio de Rioverde, San Luis Potosí. Se aplicó una encuesta de 35 ítems en una escala de Likert de siete puntos, formando seis agrupaciones llamadas desempeños: actitudes, habilidades, valores, conocimientos, capacidades y relaciones sociales. Se utilizaron las técnicas bivariadas ANOVA de un solo factor y *t* para muestras independientes. Se encontró que los desempeños más importantes son los valores, seguido de las capacidades, actitudes, habilidades, conocimientos y finalmente las relaciones sociales. Respecto a la asociación de los desempeños con la variable sexo, los valores, conocimientos, actitudes y capacidades muestran una diferencia estadísticamente significativa en su puntuación media. Por otro lado, la asociación de los desempeños con la variable grupo, en los valores, conocimientos, actitudes y relaciones sociales mantiene una diferencia estadísticamente significativa en su puntuación media. Con los resultados obtenidos se apoyará la actualización de los planes curriculares de las licenciaturas de la UAMZM y se propondrán enfoques de enseñanza y aprendizaje apropiados para que el egresado adquiera las competencias necesarias para insertarse en el campo laboral.

Palabras clave: desempeños laborales, inserción laboral, egresado, competencias profesionales, campo laboral.

Abstract

The aim of this study was to determine the performance and professional competence that the graduate needs to be inserted into the labor field, and to determine the degree of importance in the perception of students, graduates and professors of the Multidisciplinary Academic Unit Middle Zone (UAMZM) of the Autonomous University of San Luis Potosí (UASLP) and employers in the municipality of Rioverde, San Luis Potosí. It was applied a survey of 35 items in a Likert scale of seven points, forming six groups called performance: attitudes, skills, values, knowledge, capabilities and social relationships. Bivariate techniques were used on a single factor ANOVA and *t* for independent samples. It was found that the most important performance were values, followed by capabilities, attitudes, skills, knowledge and finally social relationships. Regarding the association of performance with the gender variable, the values, knowledge, attitudes and skills show a statistically significant difference in its mean score. On the other hand, the association of performance with the variable group, in the values, knowledge, attitudes and social relationships keeps a statistically significant difference in its mean score. The results obtained will support the updating of the curricula of the majors of UAMZM and will propose approaches to teaching and learning also appropriate for the graduate to acquire the necessary competences in entering the labor field.

Keywords: work skills, labor insertion, graduate, professional competences, labor field.

¹ Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media. Carretera Rioverde a San Ciró Km 4, San Luis Potosí, México. 79617. Tel. (487) 872-5099 ext.108.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: david.gomez@uaslp.mx.

Introducción

Un procedimiento de garantía de calidad de las universidades es el análisis de la inserción laboral de los egresados (Campos, 2008), dentro del cual se debe considerar el análisis de los desempeños que son valorados dentro de dicho campo laboral. En el contexto económico y profesional actual, los empleadores necesitan incluir en sus organizaciones a personas capaces de resolver problemas y tomar decisiones mostrando sus competencias a través de sus desempeños.

Según Riesco (2008: p.5), el profesor McClelland, de la Universidad de Harvard define a la competencia como «la característica esencial de las personas que es la causa de su rendimiento eficiente en el trabajo». Desde el punto de vista educativo, las competencias se conciben como una compleja estructura de atributos y tareas que permiten que ocurran varias acciones intencionales simultáneamente. Tienen como base el contexto en el cual se lleva la acción, pero se incluye la posibilidad de transferir y aplicar habilidades y conocimientos a nuevas situaciones y ambientes con ética (UNESCO, 1998). Las universidades en México han hecho el esfuerzo por determinar cuáles son las competencias que deben tener sus egresados para insertarse en el campo laboral (Ibarra, 2001) y definir los desempeños de cada una de ellas (Tejada, 2005). La Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) a través de la Secretaría Académica (Nieto, 2007; UASLP, 2009), el Instituto de Ciencias Educativas (UASLP, 2007) y las comisiones curriculares de cada licenciatura han emprendido la tarea para que la nueva oferta educativa originada desde el 2007 se maneje por competencias, de tipo transversal y profesional.

En palabras de Riesco (2008: p.22) «definir estas competencias es ayudar a los jóvenes y a los adultos a desarrollarse como personas y como profesionales en un proyecto de formación que va a durar toda la vida». Un proceso de enseñanza y de aprendizaje basado en el modelo por competencias podría mejorar el rendimiento académico de las personas estudiantes y acercar el conocer a la actividad experiencial y a la práctica en contextos más parecidos al futuro campo laboral (Araya y

Varela, 2011). En términos de este estudio, los desempeños son componentes tangibles y evaluables de una competencia. Conociendo los desempeños que se valoran en el egresado y el grado de importancia de los mismos, el vínculo empresa-universidad se fortalece.

Los alumnos con legítima preocupación por conocer el mercado laboral donde deberán colocarse desean saber cuáles son los desempeños más importantes que faciliten su inserción al campo laboral. Ciudades pequeñas como las de la Región Media de San Luis Potosí, con aproximadamente 50,000 habitantes, no cuentan con este tipo de estudios; en el contexto local se carece de información sobre los desempeños más valorados en el campo laboral que son útiles a los egresados para insertarse adecuadamente y a los empleadores para contratar personal acorde al perfil requerido.

La finalidad de este estudio es generar información válida y confiable que pueda ser utilizada por las comisiones curriculares de las diferentes licenciaturas de la UASLP para contribuir en la formación de los perfiles de egreso de los diversos programas académicos, que permita a la institución mejorar las estrategias de enseñanza en sus profesores y evaluar correctamente los procesos de aprendizaje en el estudiante, sin perder de vista los objetivos institucionales. Por ello, para este estudio se establece como objetivo el conocer los desempeños que el egresado necesita para insertarse en el campo laboral, y determinar el grado de importancia que tienen en la percepción de alumnos, egresados y profesores de la UAMZM de la UASLP, además de los empleadores del municipio de Rioverde, San Luis Potosí.

Hipótesis.

H1: Los desempeños necesarios para que el egresado de la UAMZM se inserte en el campo laboral, tienen un nivel de jerarquía de acuerdo a la importancia que le es otorgada a cada uno de ellos por los alumnos, egresados y profesores de la UAMZM de la UASLP y los empleadores del municipio de Rioverde, San Luis Potosí.

H2: La importancia de los desempeños necesarios en el egresado de la UAMZM para insertarse en el campo laboral en función a la percepción de los alumnos, egresados y profesores de la UAMZM de la UASLP y los empleadores del municipio de Rioverde, San Luis Potosí, se ve condicionada por las variables sociodemográficas sexo o grupo de interés.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio transversal de tipo cuantitativo descriptivo y correlacional. Conforman el total de encuestados cuatro grupos: alumnos, egresados y maestros de la UAMZM, y empleadores del municipio de Rioverde, S.L.P., denominados grupos de interés, en una muestra de 456 individuos.

Se aplicó una encuesta elaborada por profesores-investigadores de la UAMZM a partir de investigaciones exploratorias sobre los perfiles de egreso de las cinco licenciaturas con las que cuenta la propia UAMZM (UASLP, 2007); se consideraron los perfiles definidos en el Examen General de Egreso a la Licenciatura (EGEL), lo que permite identificar si los egresados del nivel superior cuentan con los conocimientos y habilidades necesarios para iniciarse eficazmente en el ejercicio profesional (CENEVAL, 2009), además de basarse en investigaciones previas diseñadas en el marco del programa Tunning para América Latina (Vargas, 2009) y entrevistas informales realizadas a empleadores, maestros, egresados y alumnos involucrados en las diferentes carreras. Con ello, se logró integrar 35 ítems, además de seis preguntas de tipo sociodemográfico. Las encuestas las aplicaron alumnos de la UAMZM, inscritos en la materia de Investigación Cuantitativa de Mercados, en carácter de colaboradores de los trabajos de investigación.

Validez y confiabilidad del instrumento. La confiabilidad de un cuestionario se refiere a la consistencia de las puntuaciones obtenidas por las mismas personas, cuando se les examina en distintas ocasiones con el mismo cuestionario; o como afirman McDaniel y Gates (2005), es la capacidad del mismo instrumento para producir resultados congruentes cuando se aplica por segunda vez, en condiciones tan parecidas como sea posible. La validez de un instrumento se genera cuando se comprueba que realmente mide aquello para lo cual fue destinado y cuán bien lo hace. De acuerdo a lo anterior, la validez del instrumento se comprobó a través de expertos, y para la confiabilidad se realizó la prueba Alfa de Cronbach para evaluar si los atributos fueron entendidos como se esperaba, dando como resultado un valor de 0.786, siendo esta confiabilidad satisfactoria.

Se utilizaron medias y porcentajes para describir las variables sociodemográficas, además de las puntuaciones de los desempeños. Se utilizó la prueba t para muestras independientes para contrastar las medias de dos grupos, hombres y mujeres en la variable sexo y el ANOVA de un solo factor para contrastar las medias de los cuatro grupos, alumnos, egresados, empleadores y profesores. La diferencia entre estas dos pruebas radica en que la primera busca variación significativa entre dos grupos y la segunda en tres o más grupos, ambos casos medidas en escala de intervalo o de razón (Malhotra, 2008).

Para definir el primer grupo de interés, conformado por alumnos de la UAMZM, se realizó un muestreo aleatorio estratificado (MAE) considerando cada una de las carreras que se imparten en la UAMZM y que las actividades académicas se realizan con semestres alternos. El porcentaje de alumnos para cada estrato resultó de la siguiente manera: 18.69% de la carrera de Ingeniería Civil, 21.53% de Contador Público, 25.25% de Licenciado en Administración, 18.69% de Licenciado en Enfermería, y para la Licenciatura en Mercadotecnia un 15.85%. El 31.5% son de

primer semestre, el 28.2% de tercero, el 23.4% de quinto, el 10.6% de séptimo y el 6.2% de noveno semestre. Por su parte, el 22.9% de los estudiantes encuestados se encontraba trabajando. Respecto al sexo, el 39.3% son hombres y el 60.7% son mujeres; en cuanto al estado civil, el 93.5% solteros, con un promedio de edad para los encuestados de 20.14 años.

Para el segundo grupo de interés, denominado egresados, se presentan las siguientes características: 42.5% hombres y 57.5% mujeres. La edad promedio de los egresados encuestados es de 26.62 años con una edad mínima de 21 años y la máxima de 37. El 97.6% de los egresados cuenta con empleo y solo el 2.4% no trabaja. En cuanto al estado civil, el 31.5% casados, el 1.1% en unión libre y el 67.4% solteros.

Respecto al tercer grupo de interés, los empleadores, se presenta de la siguiente manera: el 40.0% son propietarios y el 60.0% son administradores, de los cuales, el 49.0% son hombres y el 51.0% son mujeres. En cuanto a las características de las empresas, el 62.7% pertenece al sector servicios, el 31.4% al de comercio y solo un 5.9% al sector de manufactura. Con relación al tamaño de las mismas, el 54.0% son empresas medianas, el 38.0% son pequeñas y el 8.0% son micro empresas. El 35.3% de los empleadores corresponde a empresas públicas y 64.7% a empresas privadas.

Finalmente, del grupo de interés de maestros, el 46.2% son hombres y el 53.8% son mujeres, de los cuales solo el 10.3% imparte clases en otras escuelas, mientras que el 61.5% labora en alguna empresa o negocio propio. El 79.5% son profesores de hora clase y el 20.5% son profesores tiempo completo, con un promedio de 8.08 años trabajando en la UAMZM.

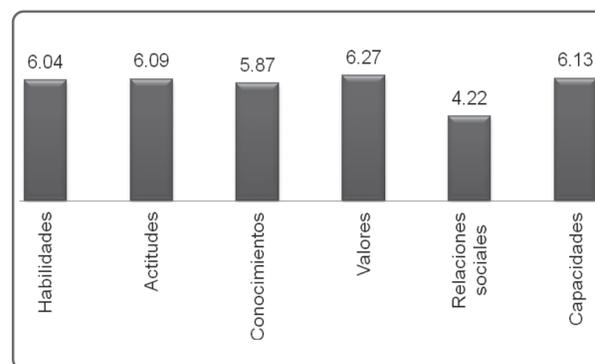
Resultados

A partir de los desempeños necesarios para que el egresado de la UAMZM se inserte en el campo laboral, representados en los 35 ítems

que conforman el instrumento aplicado, se generaron seis agrupaciones: actitudes, habilidades, valores, conocimientos, capacidades y relaciones sociales.

H1: Los desempeños necesarios para que el egresado de la UAMZM se inserte en el campo laboral, tienen un nivel de jerarquía de acuerdo a la importancia que le es otorgada a cada uno de ellos por los alumnos, egresados y profesores de la UAMZM de la UASLP y los empleadores del municipio de Rioverde, San Luis Potosí.

Figura 1. Puntuación de dominancia para cada desempeño.



La Figura 1 muestra la importancia otorgada a cada grupo de desempeños, de acuerdo a la media. Los valores son los desempeños más importantes, presentando una puntuación media de 6.27, seguido por las capacidades, con una media de 6.13, actitudes con 6.09, habilidades con 6.04, conocimientos con 5.87 y, finalmente, con una media de 4.22 se encuentran las relaciones sociales.

El Cuadro 1 muestra los desempeños agrupados en actitudes. Para la población analizada en este estudio, la puntuación mayor es para la calidad en el servicio, seguida por el buen trato al cliente y en un tercer lugar la capacidad para tomar decisiones. Estos desempeños se ubican con las mayores puntuaciones en los cuatro grupos, además del actuar crítico y propositivo, el cual resulta el de mayor importancia para los egresados, y la disposición de horario como más importante para los empleadores.

Cuadro 1. Desempeños agrupados en actitudes.

Desempeño	Media por grupo				Media población total
	Alumnos	Egresados	Maestros	Empleadores	
Capacidad para tomar decisiones	6.18	6.23	6.44	6.27	6.22
Calidad en el servicio	6.37	6.51	6.44	6.37	6.40
Buen trato al cliente	6.22	6.27	6.21	6.62	6.28
Dinamismo	5.86	6.08	6.18	6.35	5.98
Imagen proyectada	5.64	5.88	5.92	5.88	5.74
Actuar crítico y propositivo	5.76	6.74	6.10	6.08	6.02
Disposición de horario	5.89	6.29	6.15	6.29	6.04
Iniciativa	5.94	6.13	6.13	6.15	6.02

Cuadro 2. Desempeños agrupados en habilidades.

Desempeño	Media por grupo				Media población total
	Alumnos	Egresados	Maestros	Empleadores	
Capacidad para usar conocimientos en práctica	6.15	6.06	6.36	6.25	6.16
Actuar en contexto global	5.71	5.76	5.90	5.75	5.74
Capacidad para formular proyectos	6.03	6.00	6.21	5.92	6.03
Trabajo en equipo	6.17	6.37	6.41	6.37	6.25

En el Cuadro 2 se presentan los desempeños agrupados en habilidades. La mayor puntuación pertenece al trabajo en equipo, seguido por la capacidad para usar conocimientos en práctica, la capacidad para formular proyectos y, en última instancia, la habilidad de actuar en un contexto global. Respecto a las habilidades, el trabajo en equipo es el mejor puntuado en cada uno de los cuatro grupos de interés.

El Cuadro 3 muestra el grupo de desempeños conocimientos, formado por: dominio de la comunicación, manejo de tecnologías, teoría sobre la profesión, conocimientos de software y conocimientos de inglés. Para los alumnos, maestros y empleadores, el desempeño más importante dentro del grupo conocimientos es el dominio de la comunicación, mientras que para los egresados resulta más importante el conocimiento del software y la teoría sobre la profesión.

Cuadro 3. Desempeños agrupados en conocimientos.

Desempeño	Media por grupo				Media población total
	Alumnos	Egresados	Maestros	Empleadores	
Dominio de la comunicación	6.10	5.98	6.18	6.10	6.08
Conocimientos de inglés	5.71	4.67	5.51	4.63	5.36
Manejo de tecnologías	6.07	5.94	6.15	5.67	6.01
Conocimiento de software	5.83	6.03	6.05	5.85	5.89
Teoría sobre la profesión	5.97	6.03	6.03	5.77	5.96

Cuadro 4. Desempeños agrupados en valores.

Desempeño	Media por grupo				Media población total
	Alumnos	Egresados	Maestros	Empleadores	
Lealtad	6.21	6.46	6.46	6.52	6.32
Honestidad	6.35	6.50	6.62	6.62	6.43
Compromiso con el medio ambiente	5.54	5.69	5.64	6.73	5.71
Puntualidad	6.25	6.24	6.36	6.25	6.26
Actuar con ética	6.28	6.68	6.49	6.54	6.4
Compromiso y responsabilidad	6.36	6.64	6.69	6.63	6.48

Cuadro 5. Desempeños agrupados en relaciones sociales.

Desempeño	Media por grupo				Media población total
	Alumnos	Egresados	Maestros	Empleadores	
Conocer familiares del empresario	3.76	3.22	3.21	3.69	3.60
Ser de la familia	3.66	2.66	3.41	2.92	3.35
Una buena recomendación	5.29	4.89	4.54	4.63	5.07
Buena relación con compañeros	5.92	6.17	6.10	6.17	6.01
Conocerlo de tiempo	4.33	3.76	3.36	3.31	4.02
Amigo de la familia	3.65	2.74	2.79	2.62	3.28

En el Cuadro 4 se muestran los desempeños agrupados en valores, de estos, resultan más importantes el compromiso y responsabilidad, además de la honestidad, puntuando con los valores más altos. La importancia atribuida es consistente dentro de los cuatro grupos de interés, agregándose en los egresados el actuar con ética en primer orden de importancia y en los empleadores el compromiso con el medio ambiente.

importante de un egresado para insertarse exitosamente en el campo laboral es proponer e implementar soluciones.

Con lo anterior, se acepta la hipótesis 1, pues queda claro que existe evidencia de la jerarquización de los desempeños y de los agrupamientos que estos forman, debido a las diferencias significativas entre las puntuaciones medias.

Cuadro 6. Desempeños agrupados en capacidades.

Desempeño	Media por grupo				Media población total
	Alumnos	Egresados	Maestros	Empleadores	
Proponer e implementar soluciones	6.00	6.02	6.44	6.06	6.05
Capacidad para motivar y conducir a metas	6.08	6.07	6.10	6.00	6.07
Liderazgo, negociación y comunicación	6.24	6.97	6.18	6.35	6.39
Creativo	5.95	5.76	6.28	6.17	6.08
Habilidad para ser autónomo y emprendedor	6.16	6.08	6.23	6.29	6.16
Capacidad de aprender	6.04	6.18	6.13	5.88	6.06

El Cuadro 5 muestra los desempeños agrupados en relaciones sociales, el cual comprende que el empleador conozca familiares del egresado o que el egresado sea parte de su familia o amigo de la misma, posea una buena recomendación y una buena relación con compañeros. El desempeño más valorado en cuanto a relaciones sociales es tener una buena relación con compañeros, cuya importancia es consistente dentro de los cuatro grupos de interés, obteniendo una media de 6.01 para la población total.

Análisis bivariado. Dentro del análisis de datos, se buscó también la asociación entre cada uno de los agrupamientos formados por los desempeños con las variables socio-demográficas sexo y grupo de interés.

El Cuadro 6 presenta los desempeños agrupados en capacidades. Dentro de los más importantes están el liderazgo, la comunicación y la negociación en general; además, para los alumnos, egresados y empleadores, y para el grupo de maestros, la capacidad más

H2: La importancia de los desempeños necesarios en el egresado de la UAMZM para insertarse en el campo laboral en función a la percepción de los alumnos, egresados y profesores de la UAMZM de la UASLP y los empleadores del municipio de Rioverde, San Luis Potosí, se ve condicionada por las variables sociodemográficas sexo o grupo de interés.

El Cuadro 7 muestra el resumen de la asociación entre cada grupo de desempeños con la variable sexo y con los grupos de interés considerados para el estudio. La asociación en los desempeños contrastados con la variable

sexo está presente en actitudes ($t=-3.065$, $\text{sig.}=0.002$), conocimientos ($t=-2.801$, $\text{sig.}=0.005$), valores ($t=-3.737$, $\text{sig.}=0.000$) y las capacidades ($t=-2.792$, $\text{sig.}=0.005$), excepto para relaciones sociales ($t=.465$, $\text{sig.}=0.642$) y en habilidades ($t=-1.672$, $\text{sig.}=0.095$). Mientras que la asociación entre los desempeños y la variable grupo de interés está presente en: actitudes ($F=5.464$, $\text{sig.}=0.001$), conocimientos ($F=4.795$, $\text{sig.}=0.003$), valores ($F=4.023$, $\text{sig.}=0.008$) y las relaciones sociales ($F=8.520$, $\text{sig.}=0.000$), excepto para capacidades ($F=1.144$, $\text{sig.}=0.331$) y en habilidades ($F=1.051$, $\text{sig.}=0.370$).

Cuadro 7. ANOVA entre cada uno de los grupos de desempeños con las variables sexo y grupo.

Dimensión	Sexo		Grupo	
	Prueba t para muestras independientes		ANOVA	
	Valor	Sig.	Valor	Sig.
Actitudes	-3.065	.002	5.464	.001
Habilidades	-1.672	.095	1.051	.370
Conocimientos	-2.801	.005	4.795	.003
Valores	-3.737	.000	4.023	.008
Relaciones Sociales	0.465	.642	8.520	.000
Capacidades	-2.792	.005	1.144	.331

La Figura 2 muestra la puntuación media de los desempeños asociados con la variable sexo. Se puede observar que en todos los desempeños la media puntúa más alto para las mujeres; sin embargo, no existe diferencia estadísticamente significativa en los agrupamientos habilidades y relaciones sociales. En ambos sexos, el grupo de desempeños que resulta más importante es valores, con una puntuación media de 6.35 en las mujeres y de 6.11 para los hombres.

La Figura 3 muestra las medias obtenidas por cada uno de los grupos de desempeños en su asociación con la variable grupo de interés. Sin embargo, no existe diferencia estadísticamente significativa en los agrupamientos habilidades y capacidades. Se puede observar que las capacidades son valoradas mejor por los empleadores, relaciones sociales por los alumnos, valores por los empleadores, conoci-

mientos por los maestros, actitudes por el egresado y, finalmente, habilidades por los maestros.

Con lo anterior se acepta la hipótesis 2, pues existe evidencia para asociar las variables sexo y grupo de interés con los agrupamientos formados por los desempeños; esto indica diferencias estadísticamente significativas en las puntuaciones percibidas entre mujeres y hombres, así como entre profesores, alumnos, egresados y empleadores.

Figura 2. Puntuación media de los desempeños asociados con la variable sexo.

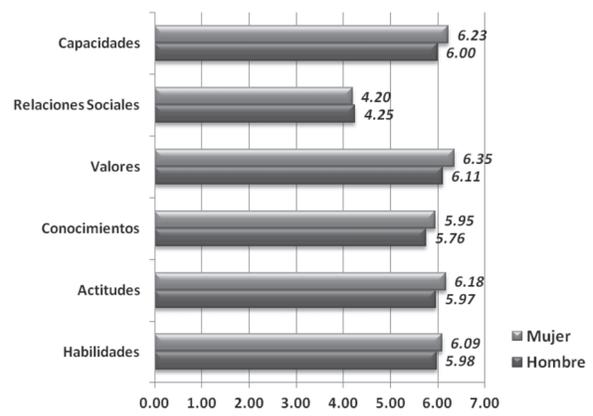
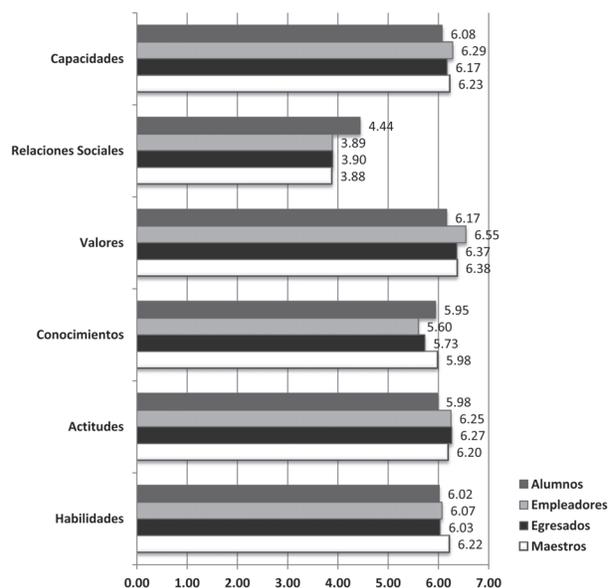


Figura 3. Puntuación media de los desempeños asociados con la variable grupo.



Conclusiones

En conclusión, la agrupación formada por valores es la más importante, seguida por capacidades, actitudes, habilidades, conocimientos y finalmente se encuentra relaciones sociales.

Dentro de la agrupación valores, resulta más importante el compromiso y responsabilidad, puntuando con la media más alta. Para las capacidades resulta más importante el liderazgo, negociación y comunicación. De las actitudes, la puntuación mayor es para la calidad en el servicio. Dentro de las habilidades, lo más importante es el trabajo en equipo. Para los conocimientos, resulta más importante el dominio de la comunicación.

Las relaciones de los grupos de desempeños contrastados con la variable sexo está presente en valores, habilidades, capacidades, conocimientos y actitudes, con excepción de las relaciones sociales. Mientras que la asociación entre los desempeños y la variable grupo de interés está presente en actitudes, conocimientos, valores y las relaciones sociales, exceptuando los desempeños habilidades y capacidades.

Tanto para el sexo masculino como el femenino los desempeños que resultan más importantes son los agrupados en valores. Respecto a los grupos de interés, el desempeño capacidades es mayormente valorado por los empleadores, relaciones sociales por los alumnos, valores por los empleadores, conocimientos por los maestros, actitudes por el egresado y, finalmente, habilidades por los maestros.

La evaluación de los desempeños necesarios para el ejercicio de una profesión contribuye al desarrollo de una formación integral en el estudiante de la UAMZM, en la cual se contemplan aquellos que requiere el alumno para su inserción y adaptación a su contexto laboral, esto por medio de la actualización de programas académicos y perfiles de egreso con un enfoque en competencias, buscando la

creación de perfiles de egreso congruentes con el campo laboral, además de adoptar nuevos enfoques de enseñanza y de aprendizaje de acuerdo a las competencias que se necesitan en el egresado.

Literatura citada

- ARAYA, M. I. y Varela, K. 2011. Aplicación de una propuesta teórica y metodológica para la producción de documentos en el modelo por competencias: un estudio cuasiexperimental. *Revista electrónica Actualidades Investigativas en Educación* 11(1):1-31.
- CAMPOS, M. C. 2008. Los Egresados y su Inserción Laboral ¿Estudias o Trabajas? *Revista Fuentes* 8: 322-332.
- CENEVAL. 2009. Examen General de egreso a la licenciatura. Disponible en: <http://www.ceneval.edu.mx/ceneval-web/content.do?page=0>. Consultado el 10 de junio de 2011.
- HAIR, J., Bush, R. y Ornatui D. 2004. Investigación de Mercados (2ª. Edición). México: Mc Graw Hill.
- IBARRA, E. 2001. La universidad en México hoy: gubernamentalidad y modernización. México, D.F.
- MALHOTRA, N. 2008. Investigación de Mercados, 5ta. Edición, México, Pearson / Prentice Hall.
- McDANIEL Carl, Gates Roger. 2005. Investigación de Mercados 6ª. Edición. Thomson. México.
- NIETO, L. 2007. Diseño curricular y competencias profesionales. Disponible en: [http://ambiental.uaslp.mx/docs/LMNC&MDV-PN-ompetencia\(s\)yCurriculumV2F.pdf](http://ambiental.uaslp.mx/docs/LMNC&MDV-PN-ompetencia(s)yCurriculumV2F.pdf). Consultado el 09 de Junio de 2011.
- RIESCO, M. 2008. El enfoque por competencias en el EEES y sus implicaciones en la enseñanza y el aprendizaje. *Revista Tendencias Pedagógicas* 13: 79-106.
- TEJADA J. 2005. El trabajo por competencias en el prácticum: cómo organizarlo y cómo evaluarlo. *Revista Electrónica de Investigación Educativa* 7(2).
- UAMZM de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 2007. Perfil de egreso alumnos de las Licenciaturas. Disponible en: http://www.uaslp.mx/Spanish/Academicas/UAZM/OFE/cont_pub/per_egre/Paginas/default.aspx, http://www.uaslp.mx/Spanish/Academicas/UAZM/OFE/ing_civil/Paginas/default.aspx. Consultado el 10 de Junio de 2011.
- UASLP. 2007. Guía para propuestas curriculares. Disponible en: http://www.uaslp.mx/Spanish/Administracion/academica/DIE/innovacion_curricular/Paginas/default.aspx. Consultado el 09 de junio de 2011.
- UASLP. 2009. Guía para profesores: recomendaciones para el regreso a clase. Disponible en: <http://www.conahec.org/conahec/portlets/H1N1Virus/InstitutionalResponses/UASLP.pdf>. Consultado el 09 de Junio de 2011.
- UNESCO. 1998. Declaración mundial sobre la educación superior en el siglo XXI, marco de acción prioritaria para el cambio y el desarrollo de la educación superior, UNESCO, París, Francia.
- VARGAS, R. 2009. Perfiles de empleabilidad y desempeño profesional. Disponible en: <http://www.comie.org.mx/congreso/memoria/v9/ponencias/at10/PRE1178332449.pdf>. Consultado el 10 de junio de 2011. 

Este artículo es citado así:

Gómez-Sánchez, D., B. Y. Amador-Guillén, H. López-Gama y R. G. Recio-Reyes. 2012: *Desempeños profesionales percibidos en el egresado para su inserción en el campo laboral: caso UASLP-UAMZM. TECNOCENCIA Chihuahua* 6(2): 123-132.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

DAVID GÓMEZ SÁNCHEZ. Es originario de Ciudad Fernández, S.L.P. y egresado de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, de la UASLP, estudió la Maestría en Administración en la misma Universidad. Actualmente es Secretario Escolar y Profesor Investigador de Tiempo Completo adscrito a la Licenciatura en Mercadotecnia en la Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) obtuvo el reconocimiento de profesor con perfil deseable PROMEP periodo 2010-2013 y la certificación ANFECA periodo 2011-2014. Es miembro del Cuerpo Académico Estudios para el Desarrollo Regional y de las Organizaciones. Cuenta con 17 publicaciones en revistas arbitradas e indexadas, es autor de más 40 ponencias en congresos internacionales o nacionales, además ha asesorado tesis a nivel licenciatura y maestría.

BRISAIDA YARIT AMADOR GUILLÉN. Estudiante de la Licenciatura en Mercadotecnia en la Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). En el año 2010 participó y obtuvo el primer lugar en el Maratón Regional de Mercadotecnia organizado por la Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Contabilidad y Administración (ANFECA) Región 3. En el año 2011 participó y obtuvo el segundo lugar en el Maratón Regional de Finanzas organizado por la ANFECA. En el año 2011 publicó el estudio "Análisis del programa de tutorías implementado para los estudiantes de la Licenciatura en Mercadotecnia". Participó como estudiante visitante en la modalidad local en el Verano de la Ciencia 2011 en la UASLP.

HÉCTOR LÓPEZ GAMA. Es originario de Rioverde, S.L.P. y egresado de la carrera de Contador Público de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), en su Unidad Zona Media, estudió la Maestría en Administración y labora en la misma Universidad como Coordinador de la carrera de Contador Público y Profesor Investigador de Tiempo Completo. Obtuvo el reconocimiento de profesor con perfil deseable PROMEP periodo 2010-2013 y la certificación ANFECA periodo 2011-2014. Es miembro del Cuerpo Académico Estudios para el Desarrollo Regional y de las Organizaciones. Cuenta con 7 publicaciones en revistas arbitradas e indexadas, es autor de más 20 ponencias en congresos internacionales o nacionales, además ha asesorado tesis a nivel licenciatura y maestría.

RAMÓN GERARDO RECIO REYES. Originario de Saltillo Coahuila, egresado de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), en donde estudió la carrera de Ingeniero Geólogo y el Doctorado en Administración. Es coordinador del Posgrado y Profesor Investigador de Tiempo Completo adscrito a la carrera de Licenciado en Administración en la Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media de la UASLP. Obtuvo reconocimiento de profesor con perfil deseable PROMEP periodo 2010-2013. Es miembro del Cuerpo Académico Estudios para el Desarrollo Regional y de las Organizaciones. Cuenta con 15 publicaciones en revistas arbitradas e indexadas, es autor de más 30 ponencias en congresos internacionales o nacionales además asesor de tesis a nivel licenciatura y maestría.

Guía para autores de escritos científicos

Política editorial

Son bienvenidos manuscritos originales e inéditos de tipo científico, tecnológico o humanístico, los cuales deberán estar escritos con un lenguaje accesible a lectores con formación profesional, atendiendo a los principios de precisión, lógica y claridad. Todo manuscrito recibido es revisado en primera instancia por el Comité de Editores Asociados, para asegurar que cumpla con el formato y contenido establecido por las normas editoriales de *TECNOCENCIA Chihuahua*. Una vez revisado, los editores asociados determinarán su viabilidad para ser publicado; enseguida, se regresa al autor responsable para que incorpore las observaciones y sea editado. Posteriormente, es sometido a un estricto arbitraje bajo el sistema de doble ciego, realizado por dos especialistas en el área del conocimiento.

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

Lineamientos generales

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

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

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

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

Manuscritos

Se entregarán cuatro copias impresas y una versión electrónica del manuscrito. También podrán remitirse los manuscritos a las direcciones

electrónicas de la revista que fueron mencionadas anteriormente pero la carta de presentación, firmada debidamente por los autores, deberá entregarse personalmente en las oficinas de la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chihuahua; también puede escanearse para su envío por correo electrónico o remitirse por FAX [(614) 439-1823]. Todo manuscrito deberá acompañarse con la carta de autoría firmada por todos los autores, cuyo formato es proporcionado por la revista. En la carta deberá indicarse el orden de coautoría y el nombre del autor de correspondencia con la revista, para facilitar la comunicación con el Editor en Jefe. Esta carta debe incluir datos completos de domicilio, número de fax y dirección electrónica.

Formato

El manuscrito científico tendrá una extensión máxima de 25 cuartillas, incluyendo figuras y cuadros, sin considerar la página de presentación. Para su escritura se utilizará procesador Word 2003 o posterior, para Windows XP o versión más reciente; todo texto se preparará utilizando la fuente Arial en 12 puntos, escrito a doble espacio y numerando páginas, renglones, cuadros y figuras del documento para facilitar su evaluación. Utilizar un margen izquierdo de 3.0 cm y 2.0 cm para el resto. Se recomienda no utilizar sangría al empezar cada párrafo del manuscrito. Los manuscritos de las diferentes categorías de trabajos que se publican en la revista deberán contener los componentes que a

continuación se indican, empezando cada uno de ellos en página aparte.

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

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

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

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

Deforest analysis areas in the north central region of the Sierra Madre Occidental of Chihuahua, Mexico

Carmelo Pinedo-Álvarez^{1,3}, Rey Manuel Quintana-Martínez¹
y Martín Martínez Salvador²

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

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

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: cpinedo@uach.mx.

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

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

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

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

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

Texto (capítulos y su orden). Existen diferencias en cuanto al contenido y estructura de cada una de las categorías de escritos científicos, que son

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

1. Artículo científico

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

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

Resumen y abstract

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

Introducción

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

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

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

«La existencia de variación genética dentro de los cultivares de cebolla ha sido demostrada para intensidad de sabor y contenido total de azúcares (Darbyshire y Henry, 1979; Bajaj *et al.*, 1980; Randle, 1992b).

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

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

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

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

Materiales y métodos

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

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

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

Resultados y discusión

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

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

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

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

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

Conclusiones

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

Agradecimientos

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

Literatura citada

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

1. Es recomendable que las referencias bibliográficas obtenidas sean preferentemente de: *Artículos científicos* de revistas periódicas indexadas, *capítulos o libros y manuscritos en extenso* (4 o más cuartillas) publicados en memorias de congresos científicos.
2. Al escribir una referencia empezar con el apellido paterno (donde sea costumbre agregar enseguida el apellido materno separado por un guión) del autor principal y luego las iniciales de su(s) nombre(s). Enseguida escriba la inicial del nombre del segundo autor y su primer apellido. Continuar así con el tercero y siguientes autores separando sus nombres con una coma y una y entre el penúltimo y último autor.
3. Colocar primero las referencias donde un autor es único y enseguida donde aparece como autor principal. En estos casos el orden de las citas se establece tomando como base el apellido del primer coautor que sea diferente.
4. En las citas donde el(los) autor(es) sea(n) los mismos, se ordenarán cronológicamente; se utilizarán letras en referencias de los mismos autores y que fueron publicadas en el mismo año (2004a, 2004b, 2004c, etc.).
5. Títulos de artículos y de capítulos de libros se escribirán con minúsculas (excepto la primera letra del título y nombres propios). Los títulos de libros llevan mayúsculas en todas las palabras excepto en las preposiciones y artículos gramaticales.

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

Artículos científicos de revistas periódicas

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

Capítulos de libros

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

Libros

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

Memorias de Congresos Científicos

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

Boletín, informe, publicación especial

- Hoagland, D. R. and D. I. Arnon. 1980. The water culture method for growing plants without soil. Calif. Agr. Exp. Sta. Circ. 347. 50 p.
- Alvarado, J. 1995. Redacción y preparación del artículo científico. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial 2. 150 p.
- US Environmental Protection Agency (USEPA). 1981. Process design manual for land treatment

of municipal wastewater. USEPA Rep. 625/1-77-008 (COE EM1110-1-501). U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C. 60 p.

2. Nota científica

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

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

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

3. Ensayo científico

Manuscrito de carácter científico, filosófico o literario, que contiene una contribución crítica, analítica y solidamente documentada sobre un tema específico y de actualidad. Se caracteriza por ser una aportación novedosa, inédita y expresa la opinión del(os) autor(es) así como conclusiones bien

sustentadas. Su extensión máxima es de 20 cuartillas a doble espacio (incluyendo cuadros y figuras).

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

4. Revisión bibliográfica

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

Preparación de cuadros y figuras

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

Cuadros

Los cuadros con los resultados se presentan en tablas construidas preferentemente con tres o cuatro líneas horizontales; las dos primeras sirven para separar los encabezados, mientras que la(s) última(s), para cerrar la tabla. Las líneas verticales

se usan también para distinguir columnas de datos. A continuación se presenta un ejemplo de cuadros con información estadística:

Figuras

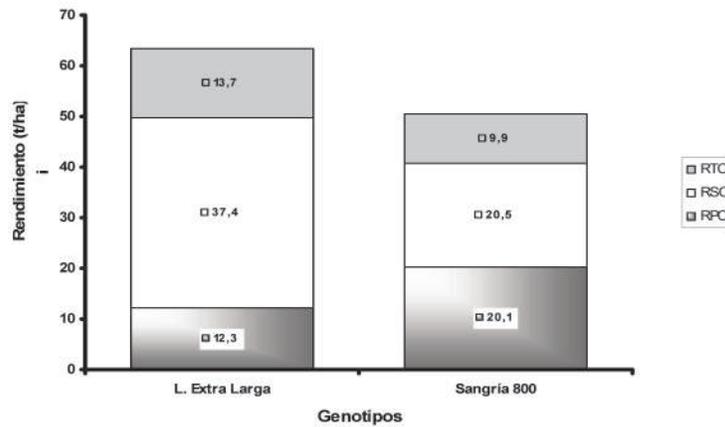
En las figuras no se debe duplicar la información presentada en los cuadros o viceversa. Se recomienda el uso de medidas de acuerdo al Sistema Métrico Decimal y las abreviaturas utilizadas deberán apearse a las recomendaciones que aparecen en la tabla que se anexa al presente documento.

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

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

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

Figura 1. Rendimiento de tres cortes en dos genotipos de sandía (Janos, Chih., UACH-2005)



Cuadro 2. Unidades de medición y abreviaturas de uso frecuente

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

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

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

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



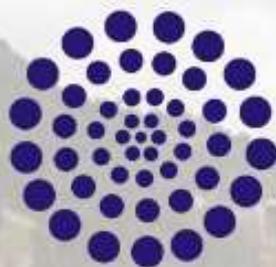
Universidad Autónoma de Chihuahua Facultad de Ingeniería

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

DOCTORADO EN INGENIERÍA

Programa apoyado con becas CONACYT

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



CONACYT

ADMISIÓN AGOSTO DE 2012

Recepción de documentos: a partir de mayo de 2012

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

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

REQUISITOS DE INGRESO:

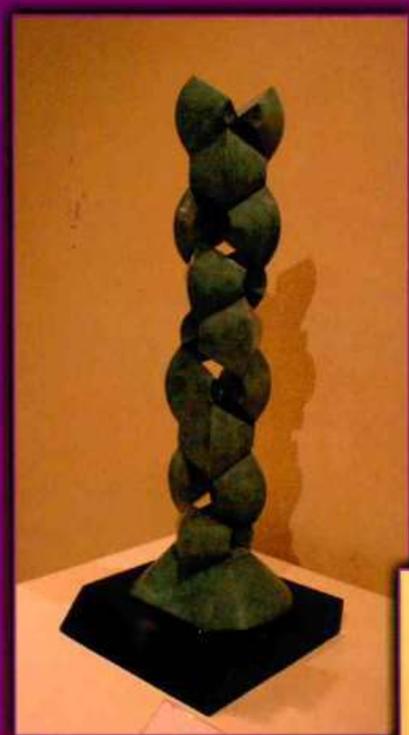
1. Dos copias de títulos licenciatura y maestría (o constancia de trámite de título);
2. Copia de cédulas profesionales de licenciatura y maestría;
3. Original y dos copias relaciones de estudio (licenciatura y maestría);
4. Original y dos copias del acta de nacimiento;
5. Original y dos copias CURP;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

MAYORES INFORMES:

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

Facultad de Ingeniería, Circuito No. 1, Campus Universitario 2,
Chihuahua, Chih., CP. 31125
www.fing.uach.mx

Poliforum Cultural Universitario
Universidad Autónoma de Chihuahua



Genoma



Paloma



Manos de Sebastián



Puerta de Chihuahua



Esperando al marino

Sala Sebastián