

TECNOLOGÍA CIENCIA Chihuahua

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



Métodos para el cálculo de la socavación local en pilas de puentes



Árboles y arbustos templados de Chihuahua, México



Estabilidad del rendimiento de chile tipo chilaca



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

M.C. JESÚS ENRIQUE SEÁÑEZ SÁENZ
Rector

DR. JESÚS VILLALOBOS JIÓN
Secretario General

M.C. JESÚS ENRIQUE PALLARES RONQUILLO
Director de Extensión y Difusión Cultural

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

M.C. JAVIER MARTÍNEZ NEVÁREZ
Director Académico

DRA. ALMA DELIA ALARCÓN ROJO
Directora de Investigación y Posgrado

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

TECNOCIENCIA
Chihuahua

Comité Editorial Interno

DR. CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA
Editor en Jefe

M.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 VIRAMONTES OLIVAS

DR. CARMELO PINEDO ÁLVAREZ
DR. JAVIER TARANGO ORTIZ

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

Consejo Editorial Internacional

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

DR. VÍCTOR ARTURO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ
Colegio de Posgraduados, México

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

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

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

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

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

DR. LUIS RAÚL TOVAR GÁLVEZ
Instituto Politécnico Nacional, México

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

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

DRA. ANGELA BEESLEY
University of Manchester, Reino Unido

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

DR. RICARD GARCÍA VALLS
Universitat Rovira I Virgili, España

DR. LUIZ CLOVIS BELARMINO
Faculdade Atlantico Sul, Brasil

TECNOCIENCIA-Chihuahua. Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades. Volumen IX, Número 1, Enero-Abril 2015. Publicación cuatrimestral de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Editor en Jefe: Dr. César Humberto Rivera Figueroa. ISSN: 1870-6606. Número de Reserva al Título en Derecho de Autor: 04-2007-0326610180900-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 13868. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 11441. Clave de registro postal PP08-0010. Domicilio de la publicación: Edificio de la Dirección de Investigación y Posgrado, Ciudad Universitaria s/n, Campus Universitario I, C.P. 31170, Chihuahua, Chihuahua, México. Oficina responsable de la circulación: Dirección de Investigación y Posgrado, Ciudad Universitaria, Campus Universitario I, C.P. 31170. Imprenta: Impresora Standar, Ernesto Talavera No. 1207, Teléfono 416-7845, Chihuahua, Chih. Tiraje: 1,000 ejemplares.

Precio por ejemplar en Chihuahua: \$ 60.00 Costo de la suscripción anual: México, \$ 200 (pesos); EUA y América Latina, \$ 35 (dólares); Europa y otros continentes, \$ 40 (dólares). La responsabilidad del contenido de los artículos firmados es de sus autores y colaboradores. Puede reproducirse total o parcialmente cada artículo citando la fuente y cuando no sea con fines de lucro.

Teléfono: (614) 439-1500 (extensión 2214); fax: (614) 439-1500 (extensión 2209), e-mail: tecnociencia.chihuahua@uach.mx

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

Contenido

Definición de la revista	I	
Editorial	II	
El científico frente a la sociedad		Concordancia de la medición del sistema antioxidante total en sangre capilar y en sangre venosa
Organización del trabajo y exigencias psicosociales en el profesor universitario		<i>Judith Margarita Rodríguez-Villalobos</i> <i>Lidia Guillermina De León-Fierro</i> <i>Claudia Esther Carrasco-Legleu</i>
	1	30
Alimentos		Ingeniería y Tecnología
Estabilidad del rendimiento de chile tipo chilaca		Métodos para el cálculo de la socavación local en pilas de puentes
		<i>Antonio Campa Rodriguez</i> <i>Fernando Rafael Astorga Bustillos</i>
	15	36
Salud		Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable
Asimetría de la masa, fuerza y potencia muscular de los miembros inferiores de estudiantes universitarios		Árboles y arbustos templados de Chihuahua, México
		<i>Toutcha Lebgue-Keleng</i> <i>Ricardo Soto-Cruz</i> <i>Gustavo Quintana-Martínez</i> <i>Miroslava Quiñonez-Martínez</i> <i>Salvador Balderrama-Castañeda</i> <i>Alicia Melgoza-Castillo</i> <i>Carlos Morales-Nieto</i> <i>Leonor Cortes-Palacios</i>
	22	49

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 profesor universitario está expuesto a una serie de exigencias psicosociales que se derivan de su trabajo cotidiano, y que contribuyen a la creciente demanda psicológica como producto de los procesos globales que determinan nuevas exigencias en el entorno universitario. Este fenómeno es ampliamente abordado en el artículo "Organización del trabajo y exigencias psicosociales en el profesor universitario", en el cual los autores describen además las características del proceso de trabajo del profesor universitario, y las consecuencias en su salud física y mental.

En el área de alimentos, se incluyó el artículo "Estabilidad del rendimiento de chile tipo chilaca", en el que se describe la evaluación de la estabilidad del rendimiento de ocho variedades de chile chilaca del estado de Chihuahua. Se reportaron tres variedades de alto rendimiento, pero solo un genotipo resultó ser consistente, y que además reúne las características de tamaño, forma, picor y sabor buscadas por el consumidor final.

Por otro lado, los autores del artículo "Asimetría de la masa, fuerza y potencia muscular de los miembros inferiores de estudiantes universitarios" determinaron la asimetría de la masa, fuerza máxima y potencia muscular de los miembros inferiores de 24 estudiantes universitarios, encontrando que no existe una diferencia significativa entre el lado dominante y el no dominante de los jóvenes universitarios.

Con el propósito de establecer la concordancia de la medición del sistema antioxidante total (SAT) en sangre capilar con respecto a su determinación en sangre venosa, se realizó un estudio correlacional de corte transversal en 12 adultos clínicamente sanos. Los

resultados se reportan en el artículo "Concordancia de la medición del sistema antioxidante total en sangre capilar y en sangre venosa", en donde los autores concluyen que la determinación del SAT en sangre capilar puede ser una opción confiable, práctica y mínimamente invasiva respecto a su medición en sangre venosa, por su alto grado de concordancia.

En el área de Ingeniería y Tecnología, se incluye el artículo "Métodos para el cálculo de la socavación local en pilas de puentes", que ofrece un detallado análisis del fenómeno de socavación local en pilas y estribos, y que constituye la principal causa de fallas de los puentes en todo el mundo. El objetivo de esta investigación fue evaluar las metodologías para el cálculo de la socavación local en las pilas de puentes.

Finalmente, se incluye el artículo "Árboles y arbustos templados de Chihuahua, México", un extenso trabajo de tres años para inventariar las especies de árboles y arbustos en las zonas templadas del estado de Chihuahua. Los autores registraron un total de 7 familias, 57 géneros y 163 especies en 11 sitios de observación a lo largo del territorio boscoso del estado.

M.S.I. IVÁN DAVID PICAZO ZAMARRIPA
COORDINADOR EDITORIAL

Organización del trabajo y exigencias psicosociales en el profesor universitario

Work organization and psychosocial demands on the university professor

DAVID PICAZO¹, ROSA MARÍA GUEVARA² Y SALVADOR LUIS OJEDA^{2,3}

Resumen

El objetivo de este trabajo es describir los aspectos de organización del trabajo que tienen relación con las exigencias psicosociales a las que están expuestos los docentes de Instituciones de Educación Superior (IES), y la repercusión que tienen en su salud física y mental. Las exigencias psicosociales laborales se han identificado como precursoras de las enfermedades psicosomáticas, que aparecen cuando tales exigencias no se ajustan a las necesidades, expectativas o capacidades del trabajador. Los procesos globales, los cambios en las condiciones de trabajo, el paradigma de la productividad y los cambios tecnológicos son factores que exacerban la creciente demanda psicológica en el docente universitario, que impactan en su salud física y mental, mientras se alienan de sí mismos porque pierden cada vez más el control sobre su propio proceso de trabajo y sobre el producto de su trabajo. El ritmo creciente de trabajo, las exigencias institucionales y las condiciones laborales precarias contribuyen a incrementar la carga mental del profesor universitario. Solamente un estudio exhaustivo de las características del trabajo del profesor universitario permitirá tener un conocimiento pleno de los procesos que son potencialmente dañinos para su salud. Por trabajar con individuos, la carga afectiva y emocional presente en cada momento relacional es un componente que se debe valorar a la hora de clasificar riesgos y exigencias en el personal docente, y la repercusión que tendrá en su salud y consecuencias en su calidad de vida en el largo plazo.

Palabras clave: síndrome de burnout, proceso de trabajo, salud mental, factores psicosociales, enfermedades psicosomáticas.

Abstract

The aim of this paper is to present aspects of work organization that are related to psychosocial demands to which professors of Higher Education Institutions (HEI) are exposed and the impact they have on their physical and mental health. The psychosocial labor demands have been identified as precursors of the psychosomatic diseases, which arise when such requirements do not meet the needs, expectations and abilities of the worker. Global processes, changes in working conditions, the paradigm of productivity and technological changes are factors that exacerbate the growing psychological demand in university teaching, that impact on their physical and mental health, while alienating themselves because increasingly losing control over their own work process and the product of their work. The increasing pace of work, the institutional requirements and the precarious working conditions contribute to increased mental workload of university professors. Only with a comprehensive study of the characteristics of the work of university professors will allow to have a full understanding of the processes that are potentially harmful to their health. Due to working with individuals, the affective and emotional burden present in each relational moment is a component that must be evaluated when classifying risks and demands on teaching staff, and the impact it will have on their health and their impact on quality of life in the long run.

Keywords: burnout syndrome, work process, mental health, psychosocial factors, psychosomatic diseases.

«Algo malo debe tener el trabajo, o ya los ricos lo habrían acaparado»
Mario Moreno «Cantinflas»

¹ Centro de Desarrollo de Estudios Superiores (CDES). Blas Cano de los Ríos 703, San Felipe Etapa I. Chihuahua, Chih. México. C.P. 31203. Tel. (614) 413-1213.

² Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Enfermería y Nutriología. Campus Universitario II. Chihuahua, Chih. México. C.P. 31125. Tel. (614) 238-6000.

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

Introducción

El trabajo, entendido como el esfuerzo físico o mental que aplican hombres y mujeres para transformar la materia prima en productos físicos o intangibles, sin duda es fuente de bienestar y de satisfacciones, al permitir el desarrollo físico, intelectual y emocional de las personas. El trabajo tiene un papel crucial en el desarrollo de la autoestima y el sentido del orden de las personas, incluso tratándose de trabajo no remunerado (OMS, 2001).

El trabajo hace posible la vida en sociedad, posibilita la vida humana misma. El trabajo determina –en gran medida–, la actividad profesional que escojamos; qué, dónde y hasta qué nivel estudiaremos, dónde viviremos, qué y dónde comeremos, cómo nos vestiremos, los bienes que adquiramos, cuándo y a dónde iremos de vacaciones, nuestros pasatiempos y, sobre todo, de qué enfermaremos... e incluso –tal vez–, de qué y cómo moriremos. Para Noriega (1989), “el hombre se crea, se produce y se reproduce a través del trabajo”.

Sin embargo, el trabajo tiene también el potencial para provocar daños en la salud de los trabajadores, si la combinación de entorno y actividad no es la más adecuada para el desarrollo de la misma. Los trabajadores enfrentan numerosos riesgos en el desempeño de su actividad laboral, los cuales pueden dar como resultado: lesiones, cáncer, pérdidas auditivas, afecciones en la piel, desórdenes mentales y daños en los sistemas músculo esquelético, cardiovascular, reproductivo y neurológico (OMS, 2009).

El cuidado de la salud en los ambientes laborales es cada vez una situación más apremiante, especialmente por la proliferación de las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), por las que cada año en el mundo mueren alrededor de 36 millones de personas, principalmente debido a enfermedades cardiovasculares, diabetes, enfermedades respiratorias crónicas y cáncer (WHO, 2007 y 2011). En México, las ECNT representan el 74% de las muertes, es decir, tres de cada cuatro personas fallecen en este país debido a estas enfermedades, y se espera un aumento constante en la siguiente década (SINAIS, 2011). La situación resulta cada día más incosteable para los sistemas de salud, a pesar de que las enfermedades no transmisibles son, en gran medida, prevenibles (Belkic *et al.*, 2000; Silvero-Miramón, 2007; IEESA, 2013).

A partir de los cambios constantes que se han suscitado en las sociedades industrializadas en las últimas décadas, surgen factores que contribuyen a esta problemática, tales como el acelerado cambio tecnológico y las crecientes demandas psicológicas del trabajo, debido principalmente a las exigencias de productividad y competitividad en las organizaciones. En este panorama, se han identificado a las exigencias psicosociales laborales como precursoras de las enfermedades psicosomáticas, por tratarse de procesos que son potencialmente productores de estrés. El medio laboral mexicano no está exento de esta situación, y los profesionales de la enseñanza han sido considerados como un grupo de alto riesgo por su constante exposición a estas exigencias (Aldrete *et al.*, 2003; Ramírez-Velázquez, 2012).

La influencia de los procesos globales en el modelo económico neoliberal ha modificado las condiciones de trabajo, y las Instituciones de Educación Superior (IES) no se han sustraído a este fenómeno. Aparejado, se han puesto de manifiesto nuevos riesgos de orden psicosocial que impactan no solo la salud física, sino también la salud mental de los docentes. Como ejemplo, la docencia como profesión, junto con otras profesiones orientadas al servicio y al trabajo con personas, se considera de alto riesgo para desarrollar el síndrome de burnout (Maslach, 1989). La constante interacción con alumnos y colegas, la planeación de actividades curriculares, elaboración de informes de desempeño, evaluación permanente de estudiantes y directivos, y la participación en actividades administrativas y de investigación, son factores que han sido identificados como precursores de esta condición. También, se han referido aspectos como la prolongación de la jornada laboral, los problemas de indisciplina y trastornos de

aprendizaje de los estudiantes, así como a la sobrecarga de alumnos por aula, como elementos críticos que caracterizan al oficio de docente y que dan forma a este malestar (Aldrete *et al.*, 2003; Ramírez-Velázquez; 2012).

El uso de la noción de estrés en el trabajo para explicar los efectos nocivos de éste sobre la salud física y mental es defendido por diversas líneas de investigación y ha sido ampliamente demostrado (Parra-Garrido, 2001). Pero, más allá del estrés, es necesario indagar en la complejidad de la interacción del trabajador y su entorno laboral para caracterizar las enfermedades de origen psicosocial. Es la combinación de demandas psicológicas laborales y la posibilidad de tomar decisiones o las restricciones organizacionales lo que impide a los trabajadores responder efectivamente a las exigencias de su ocupación (Karasek *et al.*, 1981; Dean y Pollard, 2001), presentándose un desajuste entre la respuesta efectiva del trabajador y la exigencia a la que está sometido (Parra-Garrido, 2001).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es describir los aspectos de organización del trabajo que tienen relación con las exigencias psicosociales a las que están expuestos los docentes de Instituciones de Educación Superior, y la repercusión que tienen en su salud física y mental.

Estrés y trabajo docente

A partir del cambio constante que se ha observado en las últimas décadas en las sociedades industrializadas, a partir de la reconversión industrial, las nuevas tecnologías y la creación de programas de productividad, se ha generalizado la idea de que estos procesos son potencialmente productores de estrés. El medio laboral mexicano no está exento de esta situación (Ramírez-Velázquez, 2005).

Desde que en 1948 la Organización Mundial de la salud (OMS) definiera la salud como “un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades” (OMS, 1978), ésta ha sido abordada desde una perspectiva biopsicosocial, es decir, desde un enfoque holístico y multidisciplinar. Salud y enfermedad no son términos exclusivamente biológicos o psicológicos, sino de la totalidad de la persona y el entorno (Juárez, 2011).

En este sentido, el fenómeno del estrés y sus consecuencias en la salud ha sido ampliamente abordado desde la biomedicina, psicología y sociología, llegando a modelos de análisis contruidos a partir de la propia disciplina. Sin embargo, se ha enfatizado que quedan por resolver las preocupaciones teóricas, conceptuales, metodológicas y epistemológicas que se encuentran más allá de estas fronteras disciplinares (Ramírez-Velázquez, 2005).

Al término estrés, de acuerdo con Achim (1982) y Labrador (1995), citados por Guadarrama *et al.* (2012), se le reconoce como la respuesta fisiológica del cuerpo ante una serie de estímulos llamados estresores. El estrés dispara una alarma en el cerebro, que responde por preparar el cuerpo para la acción defensiva. El sistema nervioso se despierta y las hormonas se liberan para avivar los sentidos, acelerar el pulso, profundizar la respiración y tensar los músculos. Esta respuesta (a veces llamada la respuesta de lucha o huida) es importante porque nos ayuda a defendernos contra situaciones amenazantes. Sin embargo, el estrés puede ser capaz de generar un desequilibrio en la persona, debido a las diferencias entre la presión y su capacidad para afrontarla. En sí, el estresor mismo no es el causante del estrés, sino la percepción del individuo sobre éste (Cooper, 2004). Por otra parte, a las manifestaciones del estrés se les ha denominado, de acuerdo con García y Fumero (1998), como una serie secuencial de eventos fisiológicos que afectan directamente la salud del individuo. Se trata de un estado donde varios sistemas del organismo se desvían de sus condiciones normales de funcionamiento, debido al agente inespecífico que determina su aparición. Estudios relacionados con el fenómeno (Kalimo *et al.*, 1998) reafirman que la persona estresada muestra un desequilibrio interno que afecta tanto al funcionamiento psicológico como el fisiológico, a lo que el cuerpo responde de manera individualizada, trastornando la conducta del individuo.

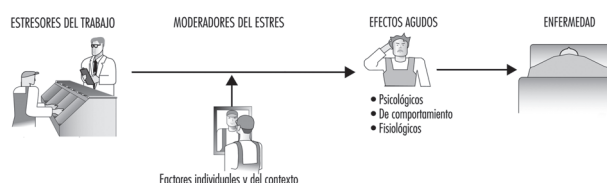
En el entorno laboral, estos estresores o estímulos pueden estar en el medio ambiente externo como el ruido, la temperatura, la luz, el movimiento, condiciones riesgosas y el aire contaminado; a nivel organizacional, se identifican el conflicto de roles, el grado de autonomía en la toma de decisiones, la carga de trabajo, las relaciones interpersonales y el

reconocimiento social, entre otros. También la ausencia de apoyo laboral por compañeros de trabajo se ha asociado con la producción de estrés en los trabajadores (Steptoe y Willemsen, 2004).

Como ya se ha comentado, el estrés es una respuesta natural y necesaria para la supervivencia, que prepara al organismo para reaccionar ante un desafío o amenaza, real o imaginaria. La respuesta se programa biológicamente y cada organismo responde de la misma manera, independientemente de que la situación sea, en el trabajo o en casa (NIOSH, 1999); la diferencia en la respuesta, radica en la frecuencia a la exposición, la personalidad de los individuos y el contexto. Episodios de estrés de corta duración o poco frecuentes representan poco riesgo. Pero cuando las situaciones estresantes continúan sin resolver, el cuerpo se mantiene en un estado constante de activación, lo que aumenta la tasa de desgaste de los sistemas biológicos. En última instancia, la fatiga o el daño resulta, y la capacidad del cuerpo para reparar y defenderse a sí mismo puede llegar a verse seriamente comprometida; como resultado, aumenta el riesgo de enfermarse (NIOSH, 1999). La combinación de estos estresores termina siendo un factor asociado con el deterioro de la salud mental, así como en la producción de otras enfermedades (Karasek *et al.*, 1998; Jonge, Peter y Siegrist, 2000).

El estrés, y por consecuencia, el riesgo de sufrir problemas de salud aparecen cuando las exigencias del trabajo no se ajustan a las necesidades, expectativas o capacidades del trabajador (OIT, s/f). Este elemento central se ejemplifica en la Figura 1, en la que se indican los elementos básicos del modelo del estrés que han adoptado los investigadores del National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

Figura 1. Modelo de estrés del trabajo del National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).



Estudios han comprobado la relación entre estrés psicológico y diversas enfermedades, como problemas cardiovasculares y cáncer (Parra-Garrido, 2004; González, 2010; Pérez-Pantoja, 2012; OIT, 2013). Una explicación tentativa de tal asociación consiste en que el estrés promueve comportamientos poco saludables que se convierten en factores de riesgo, como tabaquismo, consumo de alcohol e ingesta de grasas, entre otras (Steptoe, 1991; Martínez, 2009; Guarino *et al.*, 2012). A su vez, estos factores de riesgo son condicionantes que se han asociado a las ECNT, como la diabetes, hipertensión arterial, colecistitis crónicas, enfermedades coronarias y cáncer (Sugathan *et al.*, 2008). Otros autores mencionan el síndrome metabólico, desregulación del eje hipotálamo-hipófisis, activación del sistema nervioso simpático, perturbaciones del sueño, inflamación sistémica, inmunosupresión, alteraciones sanguíneas, cardiovasculares y músculo-esqueléticas (Honkonen *et al.*, 2000).

El origen explicativo que vincula los comportamientos poco saludables y el estrés, es el manejo inadecuado que la persona hace de su estado anímico, es decir, que en estados emocionales comprometidos pueden conducir a las personas a desarrollar conductas insanas (Zillman y Bryant, 1985, en Ng y Jeffery, 2003; Sugathan *et al.*, 2008). El desequilibrio también se da porque existe una asociación entre este manejo emocional y la forma de percibir el propio estado de salud (Lousinha y Guarino, 2013).

Precisando el concepto de estrés para ubicarlo en el contexto laboral, se puede decir que el estrés laboral es el desequilibrio percibido entre las demandas laborales y la capacidad de control, aspiraciones de la persona y las condiciones de trabajo. La Unión Europea en este momento considera el estrés laboral como el segundo problema de salud más frecuente en el mundo, teniendo como variables constantes las condiciones estresantes del trabajo, que llegan a producir daño en el equilibrio psicológico del trabajador (Guadarrama *et al.*, 2012). Robert Karasek observó que los efectos del trabajo, tanto en la salud como en el comportamiento, parecían ser resultado de la combinación de las demandas psicológicas laborales y de las características

estructurales del trabajo relacionadas con la posibilidad de tomar decisiones y usar las propias capacidades, con lo que construyó el modelo demanda-control-apoyo social (INSHT, 2001). En su propuesta, Karasek estableció que la capacidad para tomar decisiones o las restricciones ambientales que impiden a los trabajadores responder a las exigencias de su ocupación, son factores de riesgo para desarrollar cardiopatías (Karasek, 1976; Karasek *et al.*, 1981). Para Dean y Pollard (2001), la teoría de Karasek implica que el término estrés es demasiado simple para caracterizar la naturaleza y complejidad de la interacción del trabajador y su entorno laboral. Hoy en día, se reconoce que las enfermedades de origen psicosocial son un reflejo de las relaciones generadas en el ambiente laboral de los individuos. Ejemplo de ello son los trabajadores docentes en las universidades de México, que se alienan de sí mismos porque pierden cada vez más el control sobre su propio proceso de trabajo y sobre el producto de su trabajo (Tamez-González y Pérez-Domínguez, 2009). Los desequilibrios entre las aspiraciones y las necesidades del docente, y la imposibilidad de satisfacerlas, son frecuentes.

Ya que se ha comprobado que un gran número de enfermedades no son generadas de manera física, sino son una somatización de todas las exigencias psicosociales para las que el individuo no está preparado. Las actuales modificaciones en el mundo del trabajo y en especial en las instituciones universitarias, han puesto de manifiesto nuevos riesgos de orden psicosocial que impactan no solo la salud física sino también la salud mental de los docentes, derivándose en el conocido síndrome de burnout (Botero-Álvarez, 2012). La línea de estudio sobre el síndrome de burnout o “síndrome de estar quemado por el trabajo” (SQT) comenzó en la década de los setenta en Estados Unidos. Actualmente, se cuenta con una gran cantidad de investigaciones de ámbito internacional (Vandenberghe y Huberman, 2006, citados por Mercado-Salas y Gil-Monte, 2012).

Este fenómeno fue descrito en primer lugar por Freudenberger (1974), quien mostró gran interés al observar el agotamiento físico y mental que experimentaban tanto él como sus compañeros de trabajo en una clínica psiquiátrica. Otra pionera en el

estudio del SQT fue Christina Maslach (1989), quien diseñó un modelo sobre el fenómeno, en el cual describe al burnout como un tipo de respuesta prolongada a estresores emocionales e interpersonales crónicos en el trabajo. El término se adoptó de la forma en que coloquialmente se nombraba en Estados Unidos a las personas que padecían abuso crónico de alguna droga y que también se utilizaba entre los abogados para hacer referencia a manifestaciones similares al fenómeno investigado en ambientes de pobreza (Mercado-Salas y Gil-Monte, 2012).

Los síntomas asociados al síndrome son: 1) *baja realización interpersonal*, que aparece como una tendencia a evaluarse constantemente de manera negativa y con un sentido de inconformidad constante para con ellos mismos. Nunca están satisfechos con su desempeño laboral; 2) *agotamiento emocional elevado*, caracterizado por un sentimiento de afectividad casi nula; 3) *despersonalización*, que se presenta como sentimientos negativos y actitudes de alejamiento, rechazo, descuido laboral y posteriormente familiar, llegando al maltrato de las personas para las que se está trabajando (Maslach y Jackson; 1986; Buzzetti, 2005). Gil-Monte *et al.* (2005) proponen un cuarto síntoma para caracterizar al burnout: 4) *la culpa*, definida como un fuerte remordimiento motivado por el maltrato humillante e irrespetuoso al que someten al usuario de sus servicios profesionales y a compañeros de trabajo.

El SQT laboral ha sido reconocido como un riesgo para las profesiones orientadas al servicio y al trabajo con personas, tales como recursos humanos, salud y educación (Maslach, 1989). El síndrome aparece cuando las estrategias individuales de adaptación para afrontar las exigencias psicosociales laborales sobrepasan la capacidad de los trabajadores para enfrentarlas. La docencia como profesión, se ha considerado de alto riesgo para desarrollar el síndrome de burnout, porque implica a la realización simultánea de tareas diversas, que van desde la constante interacción con alumnos y compañeros, hasta la planeación de actividades curriculares, elaboración de informes de desempeño, evaluación constante de estudiantes y participación en actividades administrativas y de investigación (Aldrete *et al.*, 2003).

Al respecto, Ramírez-Velázquez (2012) refiere que aspectos como la prolongación de la jornada laboral, los problemas de indisciplina y trastornos de aprendizaje de los estudiantes, aunado a la sobrecarga de alumnos por aula, constituyen un conjunto de elementos críticos que caracterizan al oficio de docente y que dan forma al malestar, cuyo eje estructural se encuentra en la interacción social permanente. Todos estos elementos configuran un nivel importante de sobrecarga laboral, variable que se ha asociado al síndrome de burnout, al grado de servir como predictor para que éste se desarrolle (Richardsen y Leiter, 1992; Zellars *et al.*, 2000). Una vez instalado el síndrome, pueden presentarse, entre otros síntomas: fatiga, insomnio, jaquecas, problemas gastrointestinales y cardíacos, catarro crónico, afecciones respiratorias, irritabilidad, frustración, síntomas depresivos y bajo control de las emociones (Freudenberger, 1977).

Proceso de trabajo docente

Cualquier proceso de trabajo tiene inherente cuatro elementos que lo conforman y lo caracterizan, estos son:

Los objetos-sujetos, sobre los que estamos incidiendo, es decir, sobre lo que se trabaja; los objetos-sujetos, así como las transformaciones que sufren, pueden representar un riesgo para la salud de los trabajadores. Las características de los “objetos” que deben tomarse en cuenta son tanto físicas, químicas como biológicas, mientras que el término “sujeto”, se refiere a la idea que este componente del proceso de trabajo es una persona, aspecto que marca una gran diferencia con otros procesos. El caso del trabajador docente, al igual que demás ocupaciones que exigen una intensa relación con personas, es muy diferente. Procurar de verdad un aprendizaje significativo demanda una estrecha relación con los estudiantes; esta interacción es una condición indispensable para la construcción de habilidades, actitudes y saberes en los estudiantes, más allá de la mera instrucción trasmisora de conocimientos propios de un sistema de enseñanza tradicional.

En el trabajo docente existe una interacción dinámica y permanente entre maestro y alumno, cada

uno con sus particularidades. Ahora el docente está evolucionando hacia la figura de tutor o guía, rol que exige más cercanía e involucramiento con la situación académica, personal, familiar, social y emocional del estudiante. Cualquier desequilibrio que se genere en la relación maestro-alumno repercutirá de diversas formas, especialmente en la salud mental del docente.

Los medios de trabajo, es decir, todo lo que antepone para la realización de las diferentes tareas, cada una demanda al trabajador un esfuerzo diferente; manejar un montacargas requiere un esfuerzo físico y mental diferente al del docente, el tipo de proceso de trabajo define la actividad que el trabajador debe ejecutar, pero además la actividad que se realice dependerá tanto del desarrollo técnico del proceso de trabajo como de la organización y división del mismo. La salud de los docentes está muy relacionada con los medios de trabajo, muy diferentes a los que existen en otras ramas de actividad. La seguridad para afrontar la tarea docente depende en gran medida de que se tengan los medios físicos, tecnológicos y pedagógicos para llevarla a cabo.

El trabajo, comprendido por todas las actividades que realiza el trabajador, es decir “su fuerza de trabajo”, cargar o mover cosas, accionar palancas, soldar, caminar, agacharse, prepararse para hacer correctamente un corte, hablar o concentrarse. Todas estas actividades requieren de un aprendizaje y cada una de éstas exige al trabajador diversas habilidades o capacidades. En el ámbito docente, precisamente por tratarse de una relación entre seres humanos, el proceso de trabajo es más complejo y de distinta naturaleza. Se combinan actividades administrativas y de enseñanza con habilidades de regulación del comportamiento, motivación y cercanía afectiva. Los diferentes ámbitos requieren la aplicación de múltiples recursos pedagógicos, de inteligencia emocional y estrategias de motivación, entre otros.

La organización y división del trabajo, que se produce al interior del centro laboral y que abarca las diferentes formas de llevar a cabo los diversos procesos de trabajo, lo cual es determinante en la forma de la actividad física y mental del trabajador. Un movimiento que se debe realizar cientos de veces durante el día a una velocidad dada a fin de cubrir la

cuota de producción, o que requiera de estar con los brazos extendidos por largos periodos de tiempo, sin voltear a ningún lado y sin hablar con nadie, demanda al trabajador un esfuerzo físico y mental diferente al de un trabajador que requiere de una interacción constante con personas. En el caso del docente universitario, una parte de la organización de su trabajo depende del trabajo colegiado, de las academias que diseñan los planes y programas de estudio y el material didáctico, así como los instrumentos de evaluación. Sin embargo, en la práctica docente, siempre está latente la necesidad de adoptar cambios en los contenidos y estrategias, de acuerdo con las características particulares de cada grupo. Algunos de estos cambios sobre la marcha pueden generar angustia, tensión o hasta conflictos entre los involucrados.

De la forma en que se encuentren presentes estos cuatro elementos en el proceso de trabajo, van a configurarse las condiciones en que esté inmerso el trabajador, y van a generar riesgos y exigencias a diferentes niveles. Cuando se experimenta la actividad docente, estos cuatro elementos adquieren distintas dimensiones. Tan dinámicos y cambiantes son como la experiencia de un nuevo grupo de estudiantes, o una nueva materia por impartir. Es por ello que, en su complejidad, son capaces de comprometer la salud de la persona docente.

Las exigencias psicosociales

Las exigencias son las necesidades específicas que se requieren para realizar las diferentes actividades durante el proceso laboral, pero como consecuencia de la actividad que ellos desarrollan, es decir, existen en asociación con los trabajadores y son las exigencias fisiológicas que contemplan las actividades que exige el proceso, como las posiciones forzadas. Por otro lado, las exigencias psicosociales son aquellas que comprometen la actividad mental, cualquiera que esta sea, y se clasifican en: jornada de trabajo extensa, guardias, tiempo extra, rotación de turnos, pausas inexistentes e inadecuadas, pago a destajo o primas, alto grado de atención, ritmo de trabajo elevado, poco control de trabajo, trabajo monótono, trabajo repetitivo, supervisión estricta, dificultad para comunicarse con otros trabajadores y dificultad para el desplazamiento.

Los riesgos y las exigencias son equivalentes, ambos son consecuencia de los elementos centrales del proceso de laboral y deben abordarse desde el punto de vista individual y colectivo, ya que exigen diferentes habilidades, capacidades y esfuerzo físico y mental diferente. Hay aspectos importantes durante el proceso de trabajo que son indispensables para desarrollar las potencialidades humanas del trabajo los “componentes humanizantes” que se refieren a la subjetividad de cada individuo, los aspectos diferentes entre ellos, es decir, lo que afecta a una persona no necesariamente le afecta en igual manera a otra y estos componentes pueden ser físicos o mentales (Laurell, 2000).

Una enfermedad profesional es una enfermedad contraída como resultado de una exposición, durante un periodo de tiempo, a factores de riesgos en el desarrollo de la actividad laboral. En México se ha dado poca importancia a los factores de riesgo laborales que día a día enfrenta el trabajador; en nuestro país, muchas de las enfermedades de tipo laboral no son catalogadas como tales, posiblemente porque no es evidente el daño a la salud en el corto plazo. Este es el caso de las enfermedades generadas por la exposición a factores psicosociales ligados a la organización del trabajo, y que tienen al estrés como precursor de las enfermedades a través de mecanismos psicológicos y fisiológicos (Noriega, 1989, Noriega *et al.*, 2000; Justicia *et al.*, 2006; Espinoza-Díaz *et al.*, 2015).

Las exigencias psicosociales son aquellas características de las condiciones de trabajo y, sobre todo, de su organización, que afectan a la salud de las personas a través de mecanismos psicológicos y fisiológicos a los que también llamamos estrés (ISTAS, 2002). Esas condiciones, normalmente denominadas factores psicosociales, comprenden aspectos del puesto de trabajo y del entorno de trabajo, como el clima o cultura de la organización, las funciones laborales, las relaciones interpersonales en el trabajo y el diseño y contenido de las tareas (por ejemplo, su variedad, significado, alcance, carácter repetitivo, etc.). Noriega (1989) enumera además la supervisión estricta, la falta de comunicación y el desplazamiento. El concepto de factores psicosociales se extiende también al entorno

existente fuera de la organización (por ejemplo, exigencias domésticas) y a los aspectos del individuo (por ejemplo, personalidad y actitudes), y que pueden influir en la aparición del estrés en el trabajo (OIT, s/f; Espinoza-Díaz *et al.*, 2015).

La relación entre las exigencias psicosociales y la aparición de Enfermedades Crónicas No Transmisibles (ECNT) está ampliamente documentada (OIT, s/f). Por ejemplo, las altas exigencias sobre los trabajadores y el desequilibrio esfuerzo-recompensa son factores que han sido determinantes para la aparición de enfermedades cardiovasculares (Eller *et al.*, 2009; Kivimäki *et al.*, 2002). Los factores psicosociales se convierten en la exposición, que se origina en la organización del trabajo y el estrés es el precursor del efecto, que es la enfermedad (ISTAS, 2002).

A pesar de toda la evidencia, trabajadores y patrones no le han dado la importancia debida a esta problemática. Para estos actores, el aspecto más importante del trabajo sigue siendo la productividad, las actividades que generan riqueza, denostando el concepto de “salud” dentro de “nuestro trabajo”, al grado que la mayoría de la gente acepta tácitamente las consecuencias en daños a la salud que se deriven del mismo, sin “tener casi nunca tiempo” para pensar o planear qué hacer para contrarrestar esos daños – potenciales o ya reales para muchos–, que el mismo trabajo está provocando. Termina convirtiéndose en una costumbre más de nuestra propia cotidianidad. Se acepta como una situación o condición “*sine qua non*” aparejada al trabajo mismo que realizamos, paradójicamente, para poder “vivir mejor”. Tarde o temprano, estas condiciones minarán la salud de los trabajadores, y afectarán no solo a la persona sino también a la gente que la rodea y para la cual está realizando precisamente ese trabajo: su familia.

Cambios en la dinámica del profesor universitario

Desde sus orígenes, las universidades nacieron con privilegios y autonomía (Tunmerman, 2008) como una condición necesaria para su buen funcionamiento en plena libertad de cátedra e investigación (Woldenberg, 2008). Sin embargo, por ahora, esta autonomía está en entredicho. En los tiempos

recientes las decisiones académicas empiezan a ser tomadas a partir de motivaciones económicas y políticas (Ibarra, 2003). Este nuevo panorama sin duda es capaz de generar una tensión adicional en el docente, el cual muchas veces fundamenta su actuación profesional en función de las decisiones de las autoridades universitarias en turno. Por ejemplo, los criterios y mecanismos que se han ido introduciendo para controlar y evaluar el desempeño docente son una clara respuesta a los parámetros que los gobiernos neoliberales imponen a las instituciones de educación superior para la asignación de recursos (Tamez-González y Pérez-Domínguez, 2009).

Otro factor influyente es que el modelo académico tradicional de crear y transmitir conocimientos básicos ha terminado, y el nuevo paradigma de educación en la sociedad del conocimiento es la aplicabilidad de los mismos (Orozco-Rosas *et al.*, 2010). El conocimiento es ahora un activo que se combina con la interrelación de factores sociales, económicos y académicos para generar competitividad en un determinado sector, a nivel local, regional o global. Este nuevo esquema de competitividad sistémica se desprende de políticas públicas de los países, como respuesta a las recomendaciones de los organismos como el Banco Mundial, Fondo Monetario Internacional y el Fondo Interamericano del Desarrollo. Las universidades mexicanas no están exentas de estas políticas y se sujetan a las decisiones de las autoridades de gobierno.

En México, la respuesta a este nuevo paradigma fue la creación de Programa para el Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) en 1996, (hoy día PRODEP, Programa para el Desarrollo Profesional Docente) con el objetivo de impulsar la formación, dedicación y desempeño de los académicos y así elevar la calidad en la educación superior (PRODEP). Desde su creación, el reconocimiento Promep es un requisito para acceder a los estímulos económicos, cuyos montos se fijan cada año de acuerdo a la disponibilidad financiera de las universidades. Este sistema de estímulos al desempeño ya ha sido relacionado con la insatisfacción que deriva en estrés laboral crónico en docentes mexicanos (Martínez *et al.*, 2010).

Además de los sistemas de estímulos al desempeño, otros reconocimientos y apoyos como el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) constituyen pagos adicionales de origen no contractual para los profesores, y que a veces representan más del 50% de sus ingresos, por lo que el trabajador docente, aún el que tiene la posición más privilegiada, el profesor de tiempo completo, se ha convertido, de manera creciente, en un trabajador a destajo, cuyos ingresos dependen en su mayoría de actividades que no están establecidas en su relación contractual (Gil-Antón, 2013).

Las situaciones anteriormente descritas, relativamente nuevas, han puesto al académico en una nueva posición con relación a su papel e influencia en la sociedad, afectando su desempeño. Como académico, el enfoque ahora es concentrarse en obtener esos recursos, además de la calidad y prestigio que traen consigo. El dinero delinea los rasgos y guía la trayectoria del académico universitario hacia la meta propuesta, ser profesor investigador. La situación ha llevado a esta profesión a estar sujeta a lo que Blanch (2008) llama el “modelo capitalista organizacional”, cambios que se han impuesto al sistema educativo, donde el docente tiene que responder a las necesidades de un mundo globalizado y competitivo, emulando el modelo del “capitalismo académico” americano (Slaughter y Leslie, 1997; Slaughter y Rhoades, 2004).

A la par, en México, como en otros países de América Latina, el crecimiento en la matrícula y la diversificación de los programas no se han acompañado de las reformas necesarias que permitan hacer frente a las nuevas demandas; en la mayoría de los casos, las instituciones se limitan a cubrir los cursos, contratando profesores con escasa experiencia académica o disciplinaria, lo que está repercutiendo en la formación de los nuevos profesionales (Pérez-Castro, 2005). Estos son los profesores de hora clase, que representan tres de cada cuatro de los más de 340 mil docentes de IES en México. Son contratados a destajo, pagados por hora clase trabajada, sin prestaciones ni seguridad social; habitualmente, estos profesores van de una institución a otra para completar la quincena. Los docentes de hora clase, los que Gil-Antón (2013) llama

“profesores de tiempo repleto”, son los que en la realidad sostienen con su trabajo al sistema de educación superior en México.

Una de las consecuencias de este panorama es el deterioro de la salud de los profesores, debido a la elevación del ritmo de trabajo y exigencias de las instituciones (Botero-Álvarez, 2012). Lo anterior, aunado a las recientes modificaciones de las condiciones laborales de los trabajadores dentro del marco de la flexibilización laboral, contribuye a incrementar la carga mental del trabajador docente, amenazando así su bienestar psicológico y su salud (Cuenca, 2002). En el entorno universitario, estos cambios afectan a aquellos profesores que no tienen un contrato definitivo con la institución, entre otros, el trabajo por hora clase, la inestabilidad laboral y el trabajo temporal, además del bajo salario que perciben y la necesidad de contar con varios trabajos para complementar su salario. Todos estos factores finalmente impactan de manera significativa en la calidad de vida del empleado docente (Cuenca, 2002). En el ámbito laboral, la reciente reforma a la Ley Federal del Trabajo y la Reforma Educativa apuntalaron los esfuerzos por debilitar a los sindicatos e instituciones públicas que protegen los derechos de los trabajadores, con el pretexto de impulsar “nuevas culturas laborales” o corporativizando a las organizaciones de trabajadores (Tamez-González y Pérez-Domínguez, 2009).

El malestar docente

Junto a corredores de bolsa, gerentes en cargos estratégicos o mineros, se suele citar a profesionales con perfil asistencial: médicos, enfermeros, psicólogos, clérigos, y especialmente a los docentes, como trabajadores ampliamente expuestos a situaciones generadoras de tensión (Maslach, 1989; Guerrero, 2003; Cisneros-Blas y Ramírez-Sandoval, 2009). El origen del estrés del docente se da cuando la demanda de trabajo excede su capacidad de resistencia, lo cual produce un desequilibrio en su comportamiento (González, 2008).

Ya se ha visto cómo la profesión de docente ha estado sujeta, a lo largo de diferentes épocas, a constantes cambios en función de cómo ha ido marcando la sociedad, el Estado y las instituciones el

papel que debe desempeñar. Esta situación genera constantes tensiones en la labor diaria del profesional, adicional al desgaste habitual al estar frente a uno o varios grupos. Actualmente, la función de los docentes requiere un sinnúmero de conocimientos y la elaboración de una gran cantidad de actividades, las cuales no se llevan a cabo en el aula y durante el horario de trabajo únicamente, sino también fuera de la institución, en horarios que se supone deberían destinarse al descanso y recreación, tan necesarios para afrontar con ánimos renovados las vicisitudes de las jornadas de trabajo. Hay que reconocer que la docencia no es solo una actividad cotidiana o un trabajo, es un estilo de vida, y uno muy exigente. El profesor constantemente dispone del tiempo que debería dedicar a su familia, o a su descanso y recreación, para estudiar, prepararse, revisar tareas, proyectos y exámenes de sus estudiantes. Amén de ser conscientes de que representan un modelo a seguir para sus estudiantes; las actitudes, palabras y cualquier mínimo detalle causan un gran impacto en ellos, por lo que, para el docente es determinante la congruencia en el ser, decir y actuar.

Hablando de exigencias en docentes, se han documentado factores como permanecer de pie, elevar y forzar la voz, una supervisión estricta, revisar tareas, concentración excesiva, las largas jornadas de trabajo, los bajos salarios, la antigüedad en el cargo desempeñado, la sobrecarga de trabajo, y la falta de motivación como desencadenantes que alteran la calidad de vida del profesional (Bareño *et al.*, 2010). En particular, las propias actividades de instrucción y formación constituyen en un reto que demanda del profesor universitario actualizarse e innovar estrategias continuamente (Lousinha y Guarino, 2013). Hoy en día, el docente es responsable, además de la docencia, de trabajos de investigación, administrativos y de extensión universitaria, aspectos que se han ligado a su salario, como ya hemos visto, sujetos a evaluación de la productividad académica y científica, lo cual influye en definitiva en el deterioro de su vida familiar, social y laboral (Cisneros-Blas y Ramírez-Sandoval, 2009). A pesar de ello, los docentes pueden reaccionar de distinta manera a estas condiciones, algunos pueden percibirlo como un reto intelectual que puede ser fuente de satisfacción, y en otros, de estrés negativo, o distrés.

A esto se le suma el trabajo de certificaciones y acreditaciones a las que se somete a todas las instituciones educativas desde hace ya varios años, más los riesgos físicos, químicos y biológicos (por actividades en laboratorios), fisiológicos y mecánicos inherentes a sus lugares de trabajo, dentro de la toda institución de enseñanza (Valenzuela, 2013). Todas estas actividades se agregan a la larga lista de exigencias psicosociales que enfrenta el docente, y que van en aumento constante (Olivas, 2008). El trabajo extra es simplemente demasiado, por eso la mayoría de los docentes activos viven en constante cansancio, tanto físico como mental, y acusan falta de tranquilidad para desempeñar su función a plena capacidad.

En profesores universitarios, el estrés laboral se ha asociado con la falta de reconocimiento, falta de seguridad social, burocracia, estructura universitaria, incertidumbre, exceso de carga docente y falta de trabajo en equipo (UNESCO, 2005). El deterioro de la calidad de vida de los docentes universitarios también ha estado ligado a: necesidades básicas insatisfechas, necesidades económicas, ambiente de trabajo, aulas inadecuadas, rigidez de la estructura universitaria, sistema medieval, burocracia y subvaloración del trabajo del profesor (Guevara-Rivas, 2011).

Por otro lado, las consecuencias en la salud física se dan como producto de las condiciones inadecuadas de los edificios, como exposición a ruido y a temperaturas extremas, mala ventilación e iluminación inadecuada. Los problemas de salud más obvios que están relacionados con estas condiciones son: hipoacusia, odinofagia (dolor de garganta), disfonía (ronquera), irritación de los ojos y disminución de la agudeza visual (Betancourt, 1999). Mientras que las consecuencias perjudiciales que los factores psicosociales tienen sobre la salud de los docentes hacen referencia a alteraciones fisiológicas y psicosomáticas (dolores de cabeza, musculares y trastornos del sueño) y psíquicas (falta de atención, de concentración, fobias, entre otras) que a la larga resultan ser más perjudiciales para su salud que los riesgos propios de sus instalaciones laborales (Unda *et al.*, 2008). Estos factores pueden causar prácticamente cualquier tipo de dolencia o patología –de origen psicosomático–, que se suma a, o

potencializa las ya ocasionadas por otros riesgos o exigencias presentes en el lugar de trabajo. Pero su daño va más allá de una manifestación física de origen mental, pues de hecho se encuentran afectando la “psique” misma del trabajador. Las consecuencias se extienden a las propias instituciones educativas, al originarse un aumento del ausentismo, disminución del rendimiento, problemas de relación, baja motivación, alta insatisfacción laboral y propensión al abandono de su trabajo. Todas situaciones asociadas a un importante nivel de agotamiento emocional (Meliá y Peiró, 1989).

A todo lo anteriormente discutido se agrega la diversidad de roles que tiene que desempeñar un profesor, como docente, esposo, padre de familia, hijo, y la necesidad de complementar el ingreso con otros empleos para mejorar su nivel socio-económico. Nos queda la cuestión de género, en el caso de ser una madre proveedora, esa profesora está particularmente expuesta a un constante estado de estrés y sus diferentes manifestaciones que causan un desequilibrio. Están en riesgo de desarrollar un determinado perfil salud-enfermedad que en ocasiones llega a ser irreversible, por tratar de cumplir con todas las funciones que le son encomendadas y que son de su responsabilidad. El trabajo que las mujeres docentes desempeñan normalmente se extiende a la casa, y la tensión se multiplica por las actividades que deben realizar en el hogar; la preocupación por la familia, en particular por el cuidado de los hijos, es una cuestión adicional que repercute en la salud de la mujer trabajadora (Betancourt, 1999).

Conclusiones

El trabajo del docente universitario, al igual que cualquier otro tipo de trabajo, permite el desarrollo físico, intelectual y emocional de los individuos, sin embargo, también es fuente y origen de alteraciones en la salud de los profesores, si la combinación de condiciones ambientales y psicosociales no es la adecuada para el desarrollo del trabajo. Como en cualquier otro grupo laboral, la salud de los docentes está condicionada en gran medida por estos factores, y los daños se manifiestan a través una amplia variedad de síntomas y enfermedades relacionadas con su actividad.

Costumbres e ideas preconcebidas de directivos y de los mismos docentes limitan un análisis objetivo de la situación. El problema fundamental es que las enfermedades psicosomáticas de origen laboral habitualmente son consideradas como una consecuencia natural de la condición humana, y además su manifestación no resulta tan dramática como en otro tipo de ambientes laborales. Los procesos peligrosos en el trabajo docente tienen sus particularidades y muchas veces pasan desapercibidos, o no se les da la importancia debida; se atribuyen a otros factores y no a los aspectos del proceso de trabajo docente que los originan. Los síntomas muchas veces se pasan por alto al considerarlos como alteraciones “normales” de la propia salud, calificándolos como simples molestias o síntomas aislados. Tales síntomas son en realidad manifestaciones tempranas de la enfermedad que se evidenciará con el tiempo, afectando definitivamente a su calidad de vida.

Solamente con un estudio exhaustivo de las características del trabajo del profesor universitario permitirá tener un conocimiento pleno de los procesos que son potencialmente dañinos para su salud. No es lo mismo trabajar con objetos inanimados que con individuos, la carga afectiva y emocional presente en cada momento relacional es un componente que se debe valorar a la hora de clasificar riesgos y exigencias en el personal docente, y la repercusión que tendrá en su salud a largo plazo. Los factores psicosociales como la relación estrecha maestro-alumno, maestro-maestro, las múltiples actividades, las condiciones del contrato laboral y la prolongación de la jornada laboral son los principales aspectos a considerar.

Por su parte, estar conscientes de la problemática permitirá a las instituciones visualizar las mejores estrategias, algunas de las cuales pueden ser: modificaciones en el proceso de trabajo, mejoras en las condiciones de las escuelas y espacios de trabajo académico, capacitación en materia de relaciones humanas, manejo de estrés, manejo de la voz, y otras alternativas útiles, orientadas a mejorar la salud de los docentes. Es de particular importancia enfocar los esfuerzos en el desarrollo de programas preventivos específicos, por su bajo costo en relación con las prácticas paliativas.

A nivel organizacional, es determinante el clima laboral para que el profesor ejecute bien su función. El docente tendrá un ambiente propicio si sabe con certeza que existen los canales de comunicación adecuados y políticas para el manejo oportuno de situaciones generadoras de ansiedad. Es obvio que las alternativas deseables son las que tienen que ver con los contratos y salarios; estabilidad laboral, mejora de los sistemas de remuneración por desempeño, así como tomar en cuenta el trabajo extra que se invierte en planeación de clase, desarrollo de material y revisión de tareas y proyectos.

La fuerza de trabajo constituye el elemento más importante en el proceso productivo, sin ella, es imposible la generación de bienes o servicios. Las instituciones educativas deben reconocer el papel protagónico que tienen los docentes en el proceso enseñanza aprendizaje. Una institución responsable procurará las condiciones justas y adecuadas para el desarrollo del trabajo docente, a sabiendas de que un ambiente laboral saludable y armónico es el mejor motivador para los trabajadores, forja el orgullo y propicia un sentimiento de pertenencia hacia la organización. El beneficio supera con creces la inversión, como consecuencia, el docente cuidará a la institución y entregará buenos resultados; sobre todo, estará en condiciones para desarrollar su capacidad y talentos al máximo, dando lo mejor de sí en beneficio de los estudiantes, y así cumplir la misión de la universidad. Su contribución a la sociedad, se verá reflejada en la actuación de los ciudadanos que ha formado en el aula, tan fundamental para generar el cambio y el progreso social que México tanto necesita.

Literatura citada

- Aldrete, M.G., Pando, M., Aranda, C. y Balcázar, N. 2003. Síndrome de Burnout en maestros de educación básica de Guadalajara. *Revista de investigación y salud* 1: 1-10. Recuperado 17/11/2013 de: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/142/14200103.pdf>.
- Bareño, J., Berbesi D., Montoya C. 2010. Factores asociados al Síndrome de Burnout en docentes de enfermería, Medellín-Colombia. *Investigaciones Andina* 12(21) [en línea]. Disponible en: <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=239016508004>>. Consultada el 19 de noviembre de 2013.
- Belkic, K., Schnall P., Landsbergis P., and Baker D. 2000. The workplace and Cardiovascular health: conclusions and thoughts for a future agenda. *Occup Med*. 15 (1): 307-21.
- Betancourt, O. 1999. Para la enseñanza e investigación de la salud y seguridad en el trabajo. Organización Panamericana de la Salud (OPS). FUNSAID. Quito, Ecuador.
- Blanch, J.M. 2008. La doble cara organizacional y personal de la flexibilización del trabajo. Desafíos, responsabilidad y agenda de la Psicología Social del Trabajo y de la organización. *Perspectivas en Psicología* 11: 11-26. Recuperado 19/11/2013 de: http://www.umanizales.edu.co/publicaciones/campos/sociales/perspectivas_psicologia/html/revistas_contenido/revista11/Ladoblecara.pdf.
- Botero-Álvarez, C.C. 2012. Riesgo psicosocial intralaboral y “burnout” en docentes universitarios de algunos países latinoamericanos. *Cuadernos de Administración*, 28(48).
- Buzzetti, B. M. 2005. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Sociales. Validación del Maslach Burnout Inventory (Mbi), en dirigentes del Colegio de Profesores A.G de Chile, Memoria para optar al título de Psicólogo.
- Cisneros-Blas, Y. y Ramírez-Sandoval, M. 2009. Prevalencia de enfermedades en trabajadores académicos de una universidad pública según seguro de gastos médicos. *Salud de los Trabajadores*, 17(2): 121-131.
- Cooper, L. y S. Williams. 2004. Manejo del Estrés en el Trabajo. México: El Manual Moderno.
- Cuenca, R. 2002. Concepto de riesgos psicosociales. Ponencia presentada en la Jornada Técnica de Actualización de los Riesgos Psicosociales y su Prevención: Mobbing, Estrés y Otros Problemas. Madrid, España 10 de diciembre de 2002. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Recuperado 30/08/2011 de: <http://www.carm.es/ctra/cendoc/doc-pdf/web/web-0009.pdf>.
- Dean, R.K., R.Q. Pollard. 2001. Application of Demand-Control Theory to Sign Language Interpreting: Implications for Stress and Interpreter Training. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education* 6(1): 1-14.
- Eller, N. H., B. Netterström, F. Gyntelberg, T. S. Kristensen, F. Nielsen, A. Steptoe, and T. Theorell. 2009. Work-Related Psychosocial Factors and the Development of Ischemic Heart Disease. *Cardiology in Review* 17(2).
- Espinoza-Díaz, I. M., J. Tous-Pallarès, y A. Vigil-Colet. 2015. Efecto del Clima Psicosocial del Grupo y de la Personalidad en el Síndrome de Quemado en el Trabajo de los docentes. *Anales de Psicología*, 31(2): 651-657.
- Freudenberger, H. 1977. Speaking from experience. Burn-out: The organizational menace. *Training and Development Journal*, 26-27.
- García, L. y A. Fumero. 1998. Personalidad y rendimiento académico en estudiantes universitarios: Un estudio predictivo en tres cursos académicos. *Análisis y Modificación de Conducta*, 24(93): 65-77.
- Gil-Antón, M. (5 de Enero de 2013). Blog del profesor Manuel Gil Antón. Recuperado el 6 de Noviembre de 2014, de Blog del profesor Manuel Gil Antón: <https://elprofegil.wordpress.com/articulosperiodicos/>
- Gil-Monte, P., Carretero, N., Roldán, M. & Muñoz E. 2005. Prevalencia del síndrome de quemarse por el trabajo (burnout) en monitores de taller para personas con discapacidad. *Revista de Psicología del trabajo y las Organizaciones*, 21(1-2): 107- 123.
- González, N. 2008. Prevalencia de estrés en la satisfacción laboral de los docentes universitarios. *Revista Electrónica de Humanidades, Educación y Comunicación Social*. 3(4).
- González, N. 2010. Prevalencia del estrés en la satisfacción laboral de los docentes universitarios. *REDHECS*, 4(3).
- Guadarrama, G.R., O. Márquez-Mendoza, S. A. Mendoza-Mojica, M. Veytia-López, J. M. Serrano-García y J. A. Ruiz-Tapia. 2012. Acontecimientos estresantes, una cuestión de salud en universitarios. *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*, 15(4).

- Guarino, L., S. Borrás, y F. Scremin. S. 2012. Diferencias individuales como predictoras de la salud y calidad de vida percibida en embarazadas. *Pensamiento Psicológico*, 10(2): 135-148.
- Guerrero, E. 2003. Análisis pormenorizado de los grados de Burnout y afrontamiento del estrés docente en profesorado universitario. *Anales de Psicología*, 19(1): 145-158.
- Guevara-Rivas, H. 2011. Fenomenología-Hermenéutica de la Calidad de Vida de docentes universitarios. Informe preliminar. www.portalesmedicos.com.
- Honkonen, T, K. Ahola, M. Pertovaara, E. Isometä, R. Kalimo, E. Nykyri, A. Aromaa, and J. Lönnqvist. 2006. The association between burnout and physical illness in the general population—results from the Finnish Health 2000 Study. *J Psychosom Res*. 61(1): 59-66.
- Ibarra, E. 2003. Capitalismo académico y globalización: la universidad reinventada. *CEDES*, 24(84): 1059-1067. Recuperado 15/11/2013 de: <http://www.scielo.br/pdf/es/v24n84/a17v2484.pdf>.
- Instituto de Estudios Educativos y Sindicales de América (IEESA). 2013. El Estrés Laboral en los Docentes de Educación Básica: Factores Desencadenantes y Consecuencias.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). 2001. Guía NTP 603: Riesgo psicosocial: el modelo demanda-control-apoyo social (I).
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS). 2002. Manual para la evaluación de riesgos psicosociales en el trabajo. Método Istars 21 (CoPsoQ) Paralelo Edición. Madrid, España.
- Jonge, J., H. Bosma, R. Peter, and J. Siegrist. 2000. Job strain, effort-reward imbalance and employee well being: a large scale cross-sectional study. *Social Science & Medicine*, 50: 1317-1327.
- Juárez, F. 2011. El concepto de salud: Una explicación sobre su unicidad, multiplicidad y los modelos de salud. *International Journal of Psychological Research*, 4(1).
- Justicia, J.F., J. L. Benítez, E. Fernández. 2006. Caracterización del acoso psicológico en el contexto universitario. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, 22(3): 293-308.
- Kalimo, R., Batawa, M. y Cooper, C. 1988. Los factores psicosociales en el trabajo y su relación con la salud. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Recuperado de: http://whqlibdoc.who.int/publications/1988/9243561022_spa.pdf.
- Karasek, R.A., 1976. The impact of the work environment on life outside the job. Tesis de doctorado. Massachusetts Institute of Technology.
- Karasek, R.A., D. Baker, F. Marxer, A. Ahlbom, And T. Theorell. 1981. Job Decision Latitude, Job Demands, and Cardiovascular Disease: A Prospective Study of Swedish Men Disease: A Prospective Study of Swedish Men. *Administrative Science Quarterly* 24: 285-308.
- Karasek, R.A. 1998. Demad/control model: a social, emotional and physiological approach to Stress risk and active behavior development. *Encyclopedia of Occupational Health and Safety*. Sweden; Organización Internacional del Trabajo. p. p. 34-36
- Kivimäki, M., P. Leino-Arjas, R. Luukkonen, H. Riihimäki, J. Vahtera and J. Kirjonen. 2002. Work stress and risk of cardiovascular mortality: prospective cohort study of industrial employees. *BMJ* (325).
- Laurell, A.C. 1993. Para la Investigación Sobre la Salud de los Trabajadores. Serie Paltex, Salud y Sociedad 2000. Organización Panamericana de la Salud. Washington, D.C.
- Lousinha, A., L. R. Guarino. 2013. Diferencias individuales como moderadoras de la relación estrés-salud en docentes universitarios. *Summa Psicológica UST*, 10(1): 73-84.
- Martínez, C. 2009. Estrés laboral y trastornos musculoesqueléticos (I). *Gestión Práctica de Riesgos Laborales*, 9: 38-46.
- Martínez, S., Méndez, I. y Zúñiga, J. 2010. Sobre la salud de los docentes universitarios de la UAM Xochimilco. Recuperado 12/11/2013 de: http://www.uam.mx/carrera_academica/correo/08_susana_martinez_alcantara.pdf.
- Maslach, C., and J. Goldberg. 1998. Prevention of burnout: New perspectives. *Applied & Preventive Psychology* 7: 63-74.
- Maslach, C y Jackson, S. E. 1986. Maslach Burnout Inventory Manual. Palo Alto.
- Meliá, J. y Peiró J. 1989. La medida de la satisfacción laboral en contextos organizacionales: el cuestionario de satisfacción S20/23. *Psicologemas* 3(5): 59-74.
- Mercado-Salas, A., P. R. Gil-Monte. 2012. Características psicométricas del «Cuestionario para la evaluación del síndrome de quemarse por el trabajo» en maestros mexicanos. *Revista de Educación*, 359: 260-273.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1999. Stress...At Work. Centers for Disease Control and Prevention.
- Ng, D. and Jeffery, R. 2003. Relationships between perceived stress and health behaviours in a sample of working adults. *Health Psychology*, 22(6): 638-642.
- Noriega, E. M. 1989. En defensa de la salud de los trabajadores. SITUAM. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 128p.
- Noriega, M., C. Laurell, S. Martínez, I. Méndez y J. Villegas. 2000. Interacción de las exigencias de trabajo en la generación de sufrimiento mental. *Cad. Saúde Pública*, 16(4): 1011-1019
- Olivas, A. 2008. Estrés en Docentes de Educación Básica de la Ciudad de Chihuahua. Tesis de Grado; Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). Factores psicosociales y de organización. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Accesado el 9 de diciembre de 2013. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/ Documentacion/ TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/34.pdf>.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). Protección y Promoción de la Salud. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Accesado el 30 de septiembre de 2013. Disponible en: http://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-ork/WCMS_162039/lang—es/index.htm.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1978. Atención primaria de salud. Declaración Alma-Ata. 91p.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2001. Occupational health: A manual for primary health care workers. 167p.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2009. Global Health Risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks. 62p.
- Orozco-Rosas, U., Ahumada-Tello, E., Zárate-Cornejo R. E. 2010. Factores en el desarrollo de la competitividad: el modelo de competitividad sistémica en la industria del software en Baja California. En: Global Conference on Business and Finance Proceedings 5(2).
- Parra-Garrido, M. 2001. Salud Mental y Trabajo. Monografía. Universidad de Santiago de Chile.
- Parra-Garrido, M. 2004. Promoción y Protección de la Salud Mental en el Trabajo: Análisis Conceptual y Sugerencias de Acción. *Ciencia & Trabajo*, 6(14).
- Pérez-Castro, J. 2005. Reseña de “El ocaso del gurú. La profesión académica en el tercer mundo” de Altbach, Philip (coord.), Gil, Manuel (ed.) ANUIES. *Revista de la Educación Superior*, 34(1): 147-155.
- Pérez-Pantoja, L. M. 2012. “38 por ciento de las enfermedades ocupacionales se debe a trastornos músculo-esqueléticos”. Boletín 070 UAM. 26 de marzo 2012.

- PRODEP. Programa para el Desarrollo Profesional Docente, para el Tipo Superior <http://dsa.sep.gob.mx/prodep.html>.
- Ramírez-Velázquez, J. 2005. Representaciones del estrés y su invisibilidad para la atención. *Cuicuilco*, 12(33): 27-60.
- Richardson, A., Burke, R., & Leiter, M. 1992. Occupational demands, psychological burnout and anxiety among hospital personnel in Norway. *Anxiety, Stress and Coping*, 5 (1): 55-68.
- Slaughter, S., L.L. Leslie 1998. Academic Capitalism: Politics, Policies, and the Entrepreneurial University. *Journal of Education Finance* 24(1): 135-140.
- Slaughter, S., G. Rhoades. 2004. Academic Capitalism and the New Economy: Markets, State, and Higher Education. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland.
- Stephoe, A. 1991. The links between stress and illness. *Psychosomatic Research*, 35: 633-644.
- Stephoe, A., and G. Willemsen. 2004. The influence of low job control on ambulatory blood pressure and perceived stress over the working day in men and women from the Whitehall II cohort. *Journal of Hypertension*, 22: 915-920.
- Silvero-Miramón, Marta. 2007. Estrés y Desmotivación Docente: El Síndrome del "Profesor Quemado" en Educación Secundaria; Fundación Laboral de la Construcción Navarra, España. 115 ESE N°12.
- SINAIS, 2011. Defunciones 1979-2009. <http://www.sinais.salud.gob.mx/basesdedatos/index.html> (17 de noviembre de 2013).
- Sugathan, T. N., C.R. Soman, K. Sankaranarayanan. 2008. Behavioural risk factors for non communicable diseases among adults in Kerala, India. *Indian J Med Res.* 127(6): 555-63.
- Tamez-González, S., J. F. Pérez-Domínguez. 2009. El trabajador universitario: entre el malestar y la lucha. *Educ. Soc. Campinas*, 30(107): 373-387.
- Tunnerman, C. 2008. La autonomía universitaria en el contexto actual. *Universidades* 58(36).
- Unda, R.S., J.I. Sandoval, P. Gil-Monte. 2008. Prevalencia del Síndrome de Quemarse por el Trabajo en Maestros Mexicanos. *Información Psicológica*, 91-92: 53-63.
- UNESCO. 2005. Condiciones de trabajo y salud docente. Magaly Robalino Campos y Anton Körner (Coordinadores).
- Valenzuela, L.S. 2013. "Exigencias Psicosociales en Docentes; el Caso de una Institución de Educación Media Básica en la Ciudad de Chihuahua" Tesis de Grado; Universidad Autónoma de Chihuahua.
- WHO. 2007. 2008-2013 Action Plan for the Global Strategy for the Prevention and Control of Noncommunicable Diseases 2008. Ginebra: World Health Organization.
- WHO. 2011. Global status report on noncommunicable diseases 2010. Ginebra: World Health Organization.
- Woldenberg, J. 2008. Autonomía universitaria: Esbozo histórico y significado. *Universidades* 58(36).
- Zellars, K., Perrewé, P., y Hochwarter, W. (2000) Burnout in health care: The role of the Five Factor of personality. *Journal of Applied Social Psychology*, 30(8): 1570-1598. 

Este artículo es citado así:

Picazo, D., R.M. Guevara y S.L. Ojeda. 2015. Organización del trabajo y exigencias psicosociales en el profesor universitario. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 9(1): 1-14.

Resumen curricular del autor y coautores

IVÁN DAVID PICAZO ZAMARRIPA. Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Chihuahua II (2002). Obtuvo los grados de Maestro en Sistemas de Información (2004) y Maestro en Salud en el Trabajo (2013), ambos por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Culminó los estudios de Doctorado en Educación en el Centro de Desarrollo de Estudios Superiores (CDES, 2015) y actualmente es candidato al grado. Tiene diplomados en Formación Docente, Ambientes Virtuales de Aprendizaje, Inglés y Formación de Evaluadores de Sistemas de Gestión de Calidad. Es instructor certificado bajo la norma internacional ISO 17024 en Diseño e Impartición de Cursos Presenciales. Posee la certificación como Auditor de Sistemas de Gestión de Calidad ISO 9001:2008 bajo la norma internacional ISO 17024. Es vicepresidente del Comité de Esquema de Certificación en Educación en Chihuahua. Desde 1995 labora en la Universidad Autónoma de Chihuahua en diversos puestos administrativos y como docente, donde actualmente desempeña el cargo de Coordinador Editorial de la Revista *Tecnociencia Chihuahua*. Es profesor de posgrado de la Universidad La Salle Chihuahua y Universidad Regional del Norte. Ha dirigido 5 tesis de licenciatura. Sus áreas de interés en la docencia son: Estadística Descriptiva e Inferencial, Seminario de Investigación, Educación, Calidad, Sistemas de Información y Salud Laboral. Es instructor en las siguientes instituciones STPS, IMSS y UACH. Ha impartido cursos de redacción y publicación de artículos científicos a doctorantes y profesores universitarios. Ha participado como instructor y conferencista con los temas "Comunicación en la Ciencia", "Creación y Desarrollo de una Revista Científica" y "Redacción y Publicación de Artículos Científicos" en 6 instituciones de educación superior. Impartió un taller de Redacción Científica en el Congreso Nacional de Investigación Educativa (COMIE 2015).

SALVADOR LUIS OJEDA LIZÁRRAGA. Médico-Cirujano egresado de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco (D.F.) en 1983. Especialidad en Medicina del Trabajo en la Dirección Médica de la STPS-UNAM, 1986. Maestro en Educación Superior (U.A.C.H.), 2004. Diplomado en Ergonomía (UNAM, 1986) y Salud en el Trabajo (UACH, 1991). Desde 1991 labora en la Facultad de Enfermería y Nutriología de la UACH y posee la categoría de Académico titular C. Área de especialización es Patologías de origen laboral. Ha dirigido 19 tesis de maestría y actualmente 5 en proceso. Ha publicado como autor o co-autor 7 artículos de Salud en el Trabajo y ha tenido diversas ponencias en congresos. Responsable Técnico de un Proyecto del Programa FOMIX (financiado por fondos externos mixtos). Asesor y Revisor de múltiples tesis de licenciatura y maestría.

Estabilidad del rendimiento de chile tipo chilaca

Yield stability of chile chilaca type

JUVENCIO GONZÁLEZ-GARCÍA^{1,2} SERGIO GUERRERO-MORALES¹, JOSÉ ÁLVARO ANCHONDO-NÁJERA¹,
JORGE IRAM SÁENZ-SOLÍS¹ Y JOSÉ EDUARDO MAGAÑA-MAGAÑA¹

Recibido: Junio 26, 2014

Aceptado: Noviembre 20, 2014

Resumen

Con el propósito de evaluar la estabilidad del rendimiento de ocho variedades de chile chilaca del programa de mejoramiento genético de la Universidad Autónoma de Chihuahua y un testigo de amplio uso estatal, se establecieron seis experimentos en igual número de ambientes de Chihuahua. Se utilizó la técnica propuesta por Eberhart y Russell teniendo como parámetros principales el valor de la pendiente (β_1) y la desviación de la regresión (S_d). Los mejores rendimientos se obtuvieron en las localidades del noroeste del estado, lugar de origen de las variedades; los coeficientes de regresión variaron desde 0.285^{ns} (Harana 4), hasta 1.851* (Harana 1), donde Harana 7, 6, 3, 4, 5 y Colegio 64 fueron estables con valores 0.759, 1.168, 0.621, 0.285, 0.772 y 0.464, respectivamente. Sólo Harana 2 resultó consistente ante los cambios de ambiente con S_d de 0.389. Harana 7 y 6 sobresalieron por su alto rendimiento en todos los ambientes, son estables pero no consistentes. Harana 1 es de alto rendimiento y no estable, se sugiere su siembra en ambientes con índices ambientales superiores a la media general. El único genotipo consistente es Harana 2, de rendimiento intermedio que reúne las características de mercado buscadas por el consumidor final (tamaño, forma y grosor de fruto, picor y sabor).

Palabras clave: *Capsicum annum* L., Anaheim, interacción G x A, chilaca, Chihuahua.

Abstract

In order to evaluate the stability of the performance of eight varieties of chili chilaca of the genetic improvement program of the "Universidad Autónoma de Chihuahua" and a control state use, six experiments were established in the same amount of environments of Chihuahua. The technique proposed by Eberhart and Russell was used, having as main parameters the value of the slope (β_1) and the regression standard deviation (S_d). The best performances were obtained in the northeastern of the state, place of origin of the varieties; the regression coefficients varied from 0.285^{ns} (Harana 4) to 1.851* (Harana 1), where Harana 7, 6, 3, 4, 5 and Colegio 64 were stable with values of 0.759, 1.168, 0.621, 0.285, 0.772 and 0.464 respectively. Only Harana 2 resulted consistent on the environment changes with S_d of 0.389. Harana 7 and 6 excelled for their high performance in all of the environments, they are stable and not consistent. Harana 1 showed high performance and without stability, its sowing in environments superior to the general mean is suggested. The only consistent genotype is Harana 2 with the intermediate performance that gathers the sought market characteristics for the final consumer (size, form and thickness of the fruit, pungency and flavor).

Keywords: *Capsicum annum* L., Anaheim, G x A interaction, chilaca, Chihuahua.

Introducción

La estabilidad de variedades e híbridos de plantas ante los cambios de ambientes, básicamente localidades y años de siembra, es una de las metas de toda empresa dedicada a la venta de semillas. De ahí que, cuando un material genético es de alto rendimiento, aceptado por el productor y estable en ambientes diferentes, la empresa asegura un mercado amplio para su semilla.

¹ Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Km. 2.5 Carretera Delicias-Rosales, Cd. Delicias, Chih. C.P. 33000. Tel/Fax: (639) 472-1967.

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

El concepto de estabilidad está ampliamente ligado al fenómeno de interacción genotipo-ambiente (G x A), entendiéndose este último como el comportamiento diferencial de los genotipos a través de las condiciones ambientales cambiantes (Rodríguez-Pérez *et al.*, 2002). De esta manera, la estabilidad fenotípica se representa por un valor pequeño de la interacción genotipo-ambiente. Al respecto, ambos términos se pueden estimar mediante procedimientos univariados (Yates y Cochran, 1938; Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966) y multivariados (Mandel, 1971; Brennan *et al.*, 1981; Crossa *et al.*, 1990). El modelo de Finlay y Wilkinson (1963) define a un genotipo estable cuando su respuesta es paralela a la media de todos los genotipos ensayados. En cambio, Eberhart y Russell (1966) indican que un genotipo se considera estable cuando el valor de la pendiente (β_i) es uno y el cuadrado de la desviación de regresión (Sd_i) es cercano a cero y por lo tanto consistente, considerando al índice ambiental como variable independiente. Dentro de los modelos multivariados, Additive Main Effects and Multiplicative Interactions (AMMI) es uno de los más utilizados para estimar la G x A (Brancourt-Hulmel y Lecomte, 2003), al considerar que los efectos principales (genotipos y ambientes) son aditivos y lineales fácilmente estimables por el análisis de varianza, mientras que la interacción G x A se debe a efectos multiplicativos que se explican por el análisis de componentes principales (ACP). Por su parte, Gauch (1992) menciona que el modelo AMMI utiliza más de un procedimiento estadístico y facilita obtener valores de rendimiento aproximados a la realidad.

La diversidad de métodos existentes para estimar la interacción G x A ha permitido la comparación entre ellos. Alanís *et al.* (2010) evaluaron el rendimiento de grano y la estabilidad de 44 híbridos de sorgo con los modelos de Finlay y Wilkinson (1963) y AMMI en 16 ambientes durante los años 2001 y 2002, encontrando que el modelo AMMI fue más efectivo para caracterizar el comportamiento de los genotipos de sorgo. Por su parte Pérez-

López *et al.* (2007) estimaron la estabilidad de 10 genotipos de papa mediante 11 índices univariados en cinco ambientes del Estado de México. Encontraron que el parámetro λ_i de Tai (1971) clasificó a los genotipos en el mismo orden que los índices W_i de Wricke (1962), σ^2_i de Shukla (1972), S_i de Huehn (1990), y b_i y Sd_i de Eberhart y Russell (1966).

A la fecha, en revistas de índole científico no se han reportado estudios de estabilidad del rendimiento en chile tipo chilaca o también conocido como tipo Anaheim. Sin embargo, la chilaca es ampliamente cultivada en el estado de Chihuahua. En las principales zonas productoras se utilizan materiales de origen norteamericano y en menor escala materiales criollos. Con el propósito de disminuir la alta dependencia de semillas mejoradas de esta hortaliza del extranjero, el programa de mejoramiento genético de chile de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua ha creado al menos 20 líneas de alto rendimiento. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue estimar la estabilidad y la interacción genotipo-ambiente del rendimiento en chile tipo chilaca, para identificar cuáles líneas pueden ser promovidas para su venta en las zonas productoras de chilaca del estado de Chihuahua.

Materiales y Métodos

Para este estudio se consideró el rendimiento de ocho líneas de chilaca del programa de mejoramiento genético de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua, más un testigo de amplio uso en el estado de Chihuahua. Las líneas se derivaron del cruzamiento entre las variedades comerciales Sandía y Colegio 64 y del material criollo denominado Chile Negro Vallero del Buenaventura, Chih., que después de cuatro ciclos de selección familiar de autohermanos y dos posteriores de selección uniseminal se detectaron como sobresalientes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales características de nueve genotipos de chilaca evaluados en seis ambientes en el estado de Chihuahua, México.

Genotipo	Fruto		Grado de picor†	Sabor†
	Largo (cm)	Forma		
Harana 1 (H1)	23	Alargado	Medio	Agradable-dulce
Harana 2 (H2)	22	Alargado	Medio	Agradable-dulce
Harana 3 (H3)	18	Alargado	Medio-alto	Agradable-dulce
Harana 4 (H4)	20	Alargado-puntiagudo	Alto	Agradable-dulce
Harana 5 (H5)	18	Alargado-triangular	Medio-alto	Agradable-dulce
Harana 6 (H6)	21	Alargado-triangular	Medio	Agradable-dulce
Harana 7 (H7)	22	Alargado-triangular	Alto	Agradable-dulce
Harana 8 (H8)	21	Alargado-triangular	Medio-alto	Dulce
Colegio 64	25	Alargado	Medio	Dulce

† Obtenido por pruebas organolépticas.

Cuadro 2. Ambientes de prueba, tipo de clima, datos de clima y altitud.

Localidad	Clima†	T	P	msnm
Ascensión	BSokw(e')	17.6	396.1	1,473
Ascensión	BSokw(e')	17.2	380.1	1,574
Ricardo Flores Magón	BWhw''(x')(e')	18.4	255.4	1,550
Delicias	BWhw(e')	19.3	275.2	1,171
Lázaro Cárdenas	BWhw''(e')	20.1	260.6	1,155
Camargo	BWhw(w)(e')	20.8	295.0	1,227

† Köppen, modificado por García (1973).

T = temperatura media anual (°C), P = precipitación media anual (mm), msnm = metros sobre el nivel del mar.

Los nueve materiales genéticos se establecieron en el año 2009 en seis localidades productoras de chile (Cuadro 2), bajo un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental consistió de cinco surcos de 5 m de largo separados a 0.92 m, con una separación de 0.3 m entre plantas.

La plántula se produjo bajo condiciones de invernadero en charolas de 200 cavidades en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales el 10 de febrero de 2009, dándole el manejo

recomendado por la institución. Posteriormente, cuando esta alcanzó el estado de cuatro hojas verdaderas, se trasladó para su trasplante definitivo entre el 2 y el 8 de abril de 2009. En las seis localidades de prueba, el terreno se preparó mediante un barbecho, dos pasos de rastra, nivelación, surcado, riego de presiembra, descopetado y surcado. El trasplante se llevó a cabo en la tarde (2, 3 y 4 de abril de 2009 en las localidades de Camargo, Delicias y Colonia Lázaro Cárdenas, Chih., respectivamente; 5, 7 y 8 de abril de 2009 en las localidades de Ascensión, Buenaventura y Ricardo Flores Magón, Chih., respectivamente) para aplicar el riego inmediatamente de éste. La fertilización y el manejo del cultivo se acondicionaron según lo recomendado por la guía técnica del CAEDEL-INIFAP (1984) y las posibilidades de cada agricultor cooperante. El rendimiento dado en kg por parcela, se obtuvo de tres cortes, considerando únicamente plantas de competencia completa y ajustándolo a un mismo número de plantas por unidad de superficie.

Se aplicó análisis de varianza por localidad y combinando las seis localidades. En ambos casos se utilizó la prueba de separación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), considerando en este último caso a variedades como factor aleatorio y a localidades como fijo. Los datos de rendimiento se analizaron con el modelo de parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell (1966) mediante el paquete estadístico elaborado por González y Ozaeta (2006). El modelo estadístico fue:

$$y_{ij} = \mu_i + b_i I_j + S_{ij}$$

donde: y_{ij} es el rendimiento medio de la i -ésima variedad en el j -ésimo ambiente; μ_i es el rendimiento medio de la variedad i sobre todos los ambientes; b_i es el coeficiente de regresión que mide la respuesta de la variedad i en los ambientes de prueba; I_j es el índice ambiental obtenido de la diferencia entre el rendimiento medio de todas las variedades en el ambiente j y la media general; S_{ij} corresponde a la desviación de regresión de la variedad i en el ambiente j . En este modelo, b_i representa la respuesta de un genotipo ante el cambio de la

respuesta ambiental (valor de la pendiente), y S_{ij} , al ser una medida de variabilidad, mide la consistencia o inconsistencia de la respuesta de la variedad al cambiar de ambiente. Un genotipo es estable cuando su coeficiente de regresión es estadísticamente igual a 1.0 y las desviaciones de regresión son cercanas a cero. Para clasificar a las variedades en función de los valores de los parámetros mencionados, se utilizó el criterio de Carballo y Márquez (1970).

Resultados y Discusión

El análisis de varianza combinado (Cuadro 3) detectó diferencias significativas entre ambientes, variedades e interacción variedades x ambientes. Un alto porcentaje (82.92%) de la variación en el rendimiento se atribuyó a variedades. Las fuentes de variación ambientes e interacción variedades x ambientes representaron 8.54% y 6.10% del total de la variación, respectivamente. La gran variabilidad genotípica se explica por el origen de los genotipos. Todas las variedades Harana se obtuvieron cruzando el genotipo regional Negro Vallero de Buenaventura con las variedades comerciales Sandía y Colegio 64, ambas de origen norteamericano. Algunos autores, entre ellos Márquez (1985), mencionan que es factible aumentar significativamente la variabilidad genotípica cuando se cruza germoplasma mejorado con variedades regionales y/o silvestres. Tanto la variación ambiental como la interacción variedades x ambientes se reflejan en lo contrastante de las dos grandes regiones ecológicas de Chihuahua donde se siembra el cultivo de chile. Por una parte, las localidades de Buenaventura, Flores Magón y Ascensión corresponden a la zona Noroeste, en tanto que Camargo, Delicias y Lázaro Cárdenas a la zona Centro-Sur del estado. Estas zonas difieren entre ellas, aunque no dentro de las mismas (Cuadro 2); adicionalmente, las medias de rendimiento por ambiente mostradas en el Cuadro 4 reflejan valores parecidos dentro de cada región agroecológica, aunque diferentes entre ellas. Desde el punto de vista estadístico, los porcentajes de variación pequeños documentados en las fuentes ambientes e interacción variedad x

ambiente se explican por este hecho, tal y como lo menciona Kuehl (1994) cuando indica que las fuentes de variación simples y de interacción miden la variabilidad entre y no dentro. Al comparar las dos zonas agrícolas, se observa que los parámetros estadísticos para el Noroeste de Chihuahua (media = 40.8 kg parcela⁻¹, error estándar = 2.1 kg parcela⁻¹ y C.V. = 26.5%) difieren de los correspondientes a la región Centro-Sur (media = 34.9 kg parcela⁻¹, error estándar = 1.9 kg parcela⁻¹ y C.V. = 28.4%). Prácticamente, la variación dentro y entre regiones es pequeña con rendimientos ligeramente superiores en el Noroeste de Chihuahua.

Cuadro 3. Análisis de varianza combinado del rendimiento de fruto de nueve genotipos de chile tipo chilaca en seis ambientes del estado de Chihuahua.

Fuente de Var	GL	SC	Porcentaje ^z	CM
Ambientes (A)	5	2633.56	8.54	526.711**
Repeticiones (R)	24	134.51	0.44	5.6043*
Variedades (V)	8	25578.90	82.92	3197.3624**
V x A	40	1880.82	6.10	47.0205**
Error	192	620.77	2.01	3.2332
R ²				0.9798
C.V. (%)				4.7471
Media				37.87

^z Valor obtenido con base en la Suma de Cuadrados Total

* Significativo con $p \leq 0.05$

** Significativo con $p \leq 0.01$

Con relación al análisis por ambiente, se observó que las variedades Harana 7, Harana 1 y Harana 6 mostraron los rendimientos promedio más altos en las seis localidades (Cuadro 4). Según Hermosillo-Cereceres *et al.* (2008), las tres variedades están fuertemente relacionadas y provienen de cruza entre tipos Sandía y Negro Vallero que se distinguen por su alta aceptación por los productores del noroeste del estado de Chihuahua, no sólo por su calidad sino también por su rendimiento, picor y aroma. Asimismo, Harana 8, Harana 5, Harana 4 y el testigo Colegio 64 fueron las variedades de menor rendimiento. Estas cuatro variedades están ampliamente mezcladas entre los tipos Sandía, Colegio 64 y Negro Vallero.

Cuadro 4. Prueba de separación de medias de Tukey por ambiente para el rendimiento (kg parcela⁻¹) en nueve genotipos de chilaca.

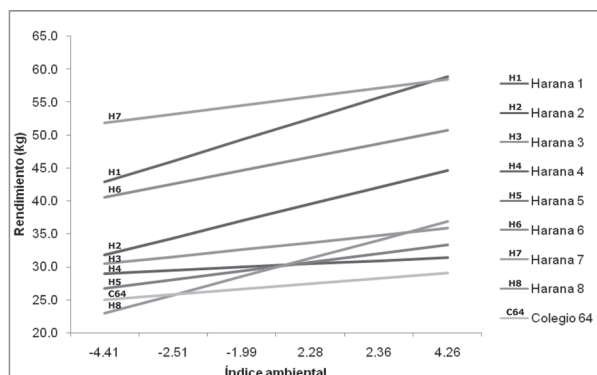
Genotipo	Ascensión	Buenaventura	Flores Magón	Delicias	Lázaro Cárdenas	Camargo
Harana 1	57.8b	57.9a	54.9a	45.2b	43.8b	46.6b
Harana 2	44.4d	43.2c	40.9c	34.3c	32.4c	34.8d
Harana 3	36.9e	34.3de	32.5ef	32.1c	28.1d	35.2d
Harana 4	30.1g	30.2f	31.5ef	34.3c	25.3d	29.9e
Harana 5	35.4ef	31.6ef	30.0f	26.1d	27.8d	29.6e
Harana 6	53.0c	47.0b	46.7b	45.4b	41.3b	40.9c
Harana 7	60.5a	55.3a	54.7a	56.7a	50.2a	53.7a
Harana 8	34.2f	36.2d	36.4d	25.5d	25.9d	22.0f
Colegio 64	26.9h	26.4g	33.8de	23.3d	26.4d	25.6ef
Media	42.1	40.2	40.2	35.9	33.5	35.4
DMSH (p 0.05)	2.5	2.8	3.2	5.1	3.8	4.7

† Misma letra en columna indica diferencia no significativa entre variedades ($p \leq 0.05$).

El análisis de parámetros de estabilidad (Cuadro 5) mostró diferencias estadísticas entre genotipos, indicando amplia variabilidad genotípica, así como en la interacción genotipo x ambiente como se había mostrado en el análisis combinado (Cuadro 3). También se observó que la diferencia de los genotipos evaluados por su coeficiente de regresión con los índices ambientales fue significativa, lo que se atribuye en gran medida a los contrastes en temperaturas y precipitación entre las regiones agrícolas Centro - Sur y Noroeste del estado de Chihuahua (Cuadro 2). De acuerdo con la información del Cuadro 6, y siguiendo la clasificación de estabilidad y adaptabilidad de genotipos propuesta por Carballo y Márquez (1970), las variedades Harana 7, 6, 3, 4 y 5 y colegio 64 se consideran como variedades de buena respuesta en todos los ambientes (estables) cuyo rendimiento no es predecible o inconsistente ($b_i = 1$, $Sd_i > 0$). Harana 1 brinda mejor respuesta en buenos ambientes como los del Noroeste de Chihuahua, aunque su rendimiento no es predecible ($b_i > 1$, $Sd_i > 0$). Harana 2 es la única variedad de rendimiento consistente y/o predecible y se espera que sobresalga en ambientes favorables ($b_i > 1$, $Sd_i = 0$). Sólo

Harana 8 muestra mejor comportamiento en buenos ambientes pero su rendimiento, además de ser bajo, es no consistente ($b_i > 1$, $Sd_i > 0$). En este sentido, Harana 2 es la variedad a recomendarse para el Noroeste de Chihuahua, mientras que Harana 7, Harana 6 y Harana 1, por sus altos rendimientos promedio, deben continuar en el Programa de Mejoramiento Genético de Chilaca donde se buscará que sean variedades sensibles a la mejora de las condiciones ambientales y de comportamiento altamente previsibles. La información proporcionada en este escrito se puede corroborar gráficamente en la Figura 1.

Figura 1. Rendimiento de nueve genotipos de chile tipo chilaca en función del índice ambiental



Cuadro 5. Cuadrados Medios del Análisis de Varianza bajo el Modelo de Eberhart y Russell (1966) para chilaca en el estudio de parámetros de estabilidad.

Fuente de Variación	GL	CM
Total	53	
Variedades	8	640.58**
Residual	45	
Ambiente (Lineal)	1	
Var x Amb (Lineal)	8	17.55*
Desv. Ponderadas	36	
Harana 1	4	3.27*
Harana 2	4	1.04 ns
Harana 3	4	6.00*
Harana 4	4	9.46*
Harana 5	4	4.23*
Harana 6	4	4.62*
Harana 7	4	6.03*
Harana 8	4	11.65*
Colegio 64	4	12.49*
Error ponderado	192	

^{ns} Diferencia no significativa; * Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cuadro 6. Rendimiento medio de los nueve genotipos de chilaca y parámetros de estabilidad en el estudio.

Variedad	Rendimiento (kg parcela ⁻¹)	Valor Pendiente (b _i)	Desv. de Reg. (S _d)
Harana 7	55.2 a	0.759 ^{ns}	5.379*
Harana 1	51.0 b	1.851*	2.627*
Harana 6	45.7 c	1.168 ^{ns}	3.974*
Harana 2	38.3 d	1.471*	0.389 ^{ns}
Harana 3	33.2 e	0.621 ^{ns}	5.349*
Harana 4	30.2 f	0.285 ^{ns}	8.815*
Harana 5	30.1 f	0.772 ^{ns}	3.588*
Harana 8	30.2 f	1.608*	11.04*
Colegio 64	27.1 g	0.464 ^{ns}	11.84*
Media General	37.9		
DMSH ($p = 0.05$)	2.2		

[†] Misma letra en columna indica diferencia no significativa entre variedades ($p \leq 0.05$).

^{ns} Diferencia no significativa; * Diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Conclusiones


Los genotipos Harana 7 y 6 fueron los de mayor rendimiento promedio en todos los ambientes de prueba. Se consideran no consistentes y sensibles a la mejora de las condiciones ambientales.

Harana 1 sobresalió por su alto rendimiento, no es estable y se sugiere se siembre en ambientes favorables (Nuevo Casas Grandes, Flores Magón y Ascensión), dado que su coeficiente de regresión es estadísticamente mayor a 1.

Harana 2 es considerado como la mejor variedad del estudio, de rendimiento intermedio que reúne las características de mercado buscadas por el consumidor final (tamaño, forma y grosor de fruto, picor y sabor).

Literatura citada

- Alanís, H.W., V Pecina Q., F Zavala G., N. Montes G., A.J. Gámez V., G. Arcos C., M.A. García G., S. Montes H., y L. Alcalá S. 2010. Modelo de Finlay y Wilkinson vs el modelo AMMI para analizar la interacción genotipo-ambiente en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(2):117-123.
- Brancourt-Hulmel, M., C. Lecomte. 2003. Effect of environmental variates on genotype environment interaction of winter wheat: A comparison of biadditive factorial regression to AMMI. *Crop Sci.* 43:608-617.
- Brennan, P. S., D. E. Byth, D. W. Draker, I. H. De Lacy, D. G. Butler. 1981. Determination of the location and number of test environments for a wheat cultivar evaluation program. *Austr. J. Res.* 32:189-201.
- Carballo, C. A., F. Márquez S. 1970. Comparación de variedades de maíz de El Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5:129-146.
- Crossa, J., H. G. Gauch Jr., R. W. Zobel. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trails. *Crop Sci.* 30:493-500.
- Eberhart, S. A., W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-46.
- Finlay, K. W., A. A. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Austr. J. Agric. Res.* 14:742-754.
- Gauch, H. G. Jr. 1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, New York, New York. 278 p.
- González, G., J. y R. Ozaeta. 2006. Parámetros de estabilidad (S. A. Eberhart and W. Russell). Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Cd. Delicias, Chih. México. Versión 1.0 en disco compacto.
- Gurung, T., T. Suchila, S. Bhalang, T. Sungcom. 2012. Stability analysis of yield and capsaicinoides content in chili (*Capsicum* spp.) grown across sin environments. *Euphytica* 187:11-18.
- Hermosillo-Cereceres, M. A., J. González G., S.J. Romero G., M. Luján F., A. Hernández M., S. Arévalo G. 2008. Relación genética de materiales experimentales de chile tipo chilaca con variedades comerciales. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(3):301-307.

- Huehn, M. 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part I: Applications. *Euphytica* 47:195-200.
- Kuehl, R.O. 1994. Statistical principles of research design and analysis. Duxbury Press. CA, USA. 686 p.
- Mandel, J. 1971. A new analysis of variance model for non-additive data. *Technometrics* 13:1-18.
- Márquez, S. F. 1985. Genotecnía Vegetal. Métodos, teoría, resultados. Tomo I. AGT Editor, S.A. México. 358 p.
- Pérez-López, D. J., L. M. Vázquez G., J. Sahagún C., y A. Rivera P. 2007. Estabilidad del rendimiento de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(3):279-284.
- Rodríguez-Pérez, J. E., J. Sahagún C., H. E. Villaseñor M., J.D. Molina G., A. Martínez G. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(2):143-151.
- Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 28:237-245.
- Tai, G. C. C. 1971. Genotypic stability and its application on potato regional trials. *Crop Science* 11:184-190.
- Yates, F., W. G. Cochran. 1938. The analysis of groups of experiments. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 28:556-580.
- Wricke, G. 1962. Über eine methode zur erfassung der ökologischen streubreite in field versuchwn. *Z. Pflanzenzüchtg* 47:92-96.
- Zewdie, Y., P. W. Bosland. 2000. Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsacinoids in *Capsicum annum* L. *Euphytica* 111:185-190. 

Este artículo es citado así:

González-García, J., S. Guerrero-Morales, J.A. Anchondo-Nájera, J.I. Sáenz-Solís y J.E. Magaña-Magaña. 2015. Estabilidad del rendimiento de chile tipo chilaca. *TECNOCENCIA Chihuahua* 9(1): 15-21.

Resumen curricular del autor y coautores

JUVENCIO GONZÁLEZ GARCÍA. Obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista en 1981 en la Universidad Autónoma Chapingo. En febrero de 1987 recibió el Grado de Maestro en Ciencias en Genética en el Colegio de Postgraduados y el de Doctor en Filosofía (Ph. D.) en Agronomía con mayor en Plant Breeding en 1997 por parte de la New Mexico State University en Las Cruces, Nuevo México, EEUU. A partir de agosto de 1983, está adscrito a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua, actualmente con Categoría de Académico Titular C. Formó parte del Sistema Nacional de Investigadores durante el periodo 1988-1994. Durante su carrera como docente e investigador, ha dirigido 20 tesis de licenciatura y 15 a nivel de Maestría en Ciencias en Horticultura, así como 10 Estudios de Caso en la Maestría en Agronegocios de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Es autor del libro Genética Estadística y coautor en tres libros más. Publicó artículos como autor en revistas como Agrociencia, Chapingo Sección Horticultura, Revista Fitotecnia Mexicana y Revista Mexicana de Agronegocios de difusión nacional e internacional, así como en dos revistas internacionales (*Euphytica* y *Plos One*). De 2000 a la fecha ha coordinado varios proyectos de investigación con financiamiento externo con empresas transnacionales de semillas y agroquímicos (Bayer, Syngenta, Gowen Mexicana, Basf, DowAgrosciences, entre otras), así como con Fundación Chihuahua, Fomix, todos en convenio con la UACH. Forma parte del equipo de revisores de artículos de la Revista Mexicana de Fitotecnia (Sociedad Mexicana de Fitogenética).

SERGIO GUERRERO MORALES. Terminó su licenciatura en 1980, en 1984 le fue otorgado el título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista por la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en El Colegio de Postgraduados de Montecillos Estado de México, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Fertilidad de Suelos en 1987. El grado de Doctorado en Agricultura y Horticultura lo obtuvo en el 2001 por la Universidad Estatal de Nuevo México en USA. Desde Agosto de 1977 labora en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales y posee la categoría de Académico Titular C. Fue miembro del Sistema Nacional de Investigadores de 1978 a 1993 como Candidato a Investigador. Su área de especialización es la Fertilidad de Suelos, con énfasis en fertilización orgánica en cultivos hortícolas y nogal. Ha dirigido más de 60 tesis de licenciatura, 3 de Maestría en Ciencias. Ha participado en 10 artículos científicos, 20 ponencias en congresos, ha dirigido más de 50 proyectos de investigación.

JORGE IRAM SÁENZ SOLÍS. Terminó la licenciatura en 1985, y se le otorgó el título como Ingeniero Agrónomo Fitotecnista en 1987 por la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UACH. Realizó su posgrado en la misma institución obteniendo el grado de Maestro en Ciencias en "Producción Agrícola en Áreas de Temporal Deficiente" en 2005. Desde febrero de 1986 labora en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales y posee la categoría de "Académico Titular C", actualmente cuenta con Perfil Deseable (2013- 2016). Posee el Nivel VIII del Programa de Estímulos al Desempeño Docente. Pertenece al Cuerpo Académico en Consolidación UACH-107 "Unidades de Producción Intensiva". Su área de especialización es Fisiología Vegetal y ha dirigido cinco tesis de licenciatura y 10 asesoradas. Ha participado en proyectos de investigación con financiamiento externo (CIMMYT) y ha sido coautor en cuatro artículos científicos en revistas arbitradas. Actualmente imparte las clases de Fisiología Vegetal, Nutrición Vegetal e Invernaderos y es responsable del Laboratorio de Fisiología y Nutrición Vegetal e Invernaderos de la FCAYF-UACH. Responsable de dar servicio a los productores en los análisis de germinación de semillas y Producción de plántulas de hortalizas.

Asimetría de la masa, fuerza y potencia muscular de los miembros inferiores de estudiantes universitarios

Asymmetry of the mass, muscle strength and power of the lower limbs of college students

RAMÓN CANDIA-LUJÁN^{1,3} Y JOSÉ ANTONIO DE PAZ-FERNÁNDEZ²

Recibido: Marzo 5, 2014

Aceptado: Junio 19, 2015

Resumen

Cuando la asimetría funcional bilateral, diferencia entre el lado dominante y el no dominante, está por encima de los niveles normales puede propiciar lesiones osteomusculares, sobre todo si se trata de los miembros inferiores. El presente estudio tuvo como objetivo determinar la asimetría de la masa, fuerza máxima y potencia muscular de los miembros inferiores de 24 estudiantes universitarios. La masa muscular se determinó por medio de una absorciometría de rayos X de doble energía (DXA), la fuerza máxima con una repetición máxima (1-RM) en sentadilla unilateral en máquina *Smith*. La potencia muscular se evaluó utilizando un *encoder* (transductor de posición lineal) con cargas del 30, 40, 50, 60 y 70% de la 1-RM. La masa muscular de la pierna dominante fue 5.42 ± 1.42 kg mientras que para la no dominante fue de 5.37 ± 1.46 kg. La fuerza máxima de la pierna dominante fue 93.2 ± 20 kg y para la no dominante 90.8 ± 21 kg. Al igual que en las anteriores variables en la potencia muscular no hubo diferencia significativa entre la pierna dominante y no dominante con ninguna de las cargas evaluadas, la máxima potencia se alcanzó con las cargas del 60 y 70% de la 1-RM. Los sujetos evaluados no presentaron diferencia significativa entre el lado dominante y el no dominante, por lo que el nivel de asimetría en la masa, fuerza máxima y potencia muscular es baja.

Palabras clave: dominante, no dominante, asimetría bilateral y miembros inferiores.

Abstract

When the bilateral functional asymmetry, difference between the dominant and non-dominant side, is above normal levels can promote musculoskeletal injuries, especially when it comes to the lower limbs. The aim of this study was to determine the asymmetry of the mass, maximum strength and power muscle of the lower limbs of 24 college students. Muscle mass was determined by dual energy X-ray absorptiometry (DXA), the maximum strength with a one repetition maximum (1-RM) in unilateral squat in Smith machine. The muscle strength was evaluated using an encoder (linear position transducer) with 30, 40, 50, 60 and 70% of 1-RM loads. The muscle mass of the dominant leg was 5.42 ± 1.42 kg while for the non-dominant 5.37 ± 1.46 kg. The maximum strength of the dominant leg was 93.2 ± 20 kg and for non-dominant 90.8 ± 21 kg. As in the above mentioned variables in muscle power was no significant difference between dominant and non-dominant leg to any of the charges assessed, maximum muscle power was reached with loads of 60 and 70% of 1-RM. The subjects tested showed no significant difference between dominant and non-dominant side, so that the level of asymmetry in the mass, maximum strength and muscle power is low.

Keywords: dominant, non-dominant, bilateral asymmetry and lower limb.

¹ Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias de la Cultura Física, Ciudad universitaria C. P. 31009. Chihuahua, Chih., México. Tel. (614) 413-0433.

² Instituto de Ciencias Biomédicas (IBIOMED), Universidad de León. 24071 León, España. Tel. 34 987 293022

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

Introducción

En años recientes la evaluación morfofuncional unilateral ha tenido gran importancia tanto en el ámbito deportivo como en el de la salud, por lo que la identificación de debilidad asimétrica o laxitud de los miembros superiores, pero con mayor énfasis de los inferiores, puede ser más importante que la comparación de los valores funcionales entre individuos (Rahnama y Bambaechi, 2008).

Para algunos investigadores dicho desequilibrio puede afectar el desempeño físico o incrementar el índice de lesiones (Newton *et al.*, 2006). La asimetría bilateral, definida como la diferencia entre el lado derecho y el izquierdo o bien entre el miembro dominante y el no dominante (Krzykata, 2010), ha sido parte de investigaciones en temas de rehabilitación (Lanshammar *et al.*, 2011; Thomeé *et al.*, 2012). En el deporte se han realizado estudios con futbolistas (Kearns *et al.*, 2001; Masuda *et al.*, 2003; Impellizzeri *et al.*, 2007; Fousekis *et al.*, 2010; Sannicandro *et al.*, 2012), basquetbolistas (Theoharopoulos *et al.*, 2000; Edwards *et al.*, 2012), judocas y luchadores (Drid *et al.*, 2009; Stradijot *et al.*, 2012), remeros (Longman *et al.*, 2011), jugadores de hockey sobre pasto (Krzykata, 2010), golfistas (Dorado *et al.*, 2002), jugadores de rugby (Stewart *et al.*, 2009), o softbolistas (Newton *et al.*, 2006) los cuales han tenido como objetivo comparar el lado dominante y el no dominante de los miembros. Dichas comparaciones han sido principalmente para determinar la asimetría bilateral en lo relativo a la masa, la densidad o la dimensión de los huesos (Dorado *et al.*, 2002; Auerbach *et al.*, 2006), equilibrio (Newton *et al.*, 2006; Pizzigalli *et al.*, 2011), la fuerza muscular (McCurdy y Langford, 2005; Drid *et al.*, 2009), o la masa muscular (Dorado *et al.*, 2002).

Se sabe que la asimetría de las extremidades superiores es más pronunciada que la de las extremidades inferiores (Krzykata, 2012). Aunque biomecánicos y médicos suponen que existe dicha asimetría en la morfología y la fuerza muscular tanto en las extremidades superiores como en las inferiores (Tate *et al.*, 2006). Kannus (citado por Krzykata, 2012) clasificó la asimetría bilateral en tres grupos; el

primer grupo o normal incluye desequilibrios de fuerza menores del 10%; el segundo posiblemente patológico, con desequilibrios de fuerza entre 10-20% y, por último, el tercero, probablemente patológico con desequilibrios de fuerza mayores al 20%. Tanto la hipertrofia como el desequilibrio muscular regularmente son resultado de actividades asimétricas realizadas crónicamente, lo que puede conducir a una lesión por sobreuso (Stewart *et al.*, 2009). Se debe tomar en cuenta que pequeñas diferencias entre el lado derecho e izquierdo resultan en grandes porcentajes de asimetría (Krzykata, 2010).

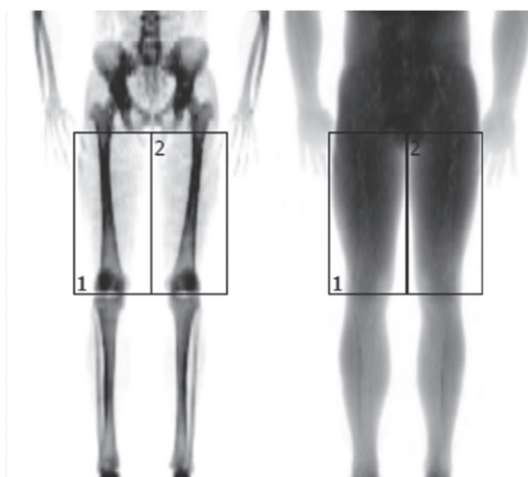
Por todo lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente estudio fue comparar la masa, fuerza y potencia muscular de la extremidad inferior dominante, frente a la no dominante de jóvenes universitarios físicamente activos.

Materiales y métodos

El estudio fue transversal con una muestra elegida por conveniencia en la que participaron 24 estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física de la Universidad de León, España (9 mujeres y 15 hombres). Ninguno de ellos con problemas osteomusculares en los últimos tres años. Se les explicó el objetivo del proyecto y los riesgos de participar en él, dando su consentimiento firmado. Para determinar su pierna dominante se les preguntó con qué pierna golpeaban más fuerte un balón. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de León. La edad de los sujetos fue de 20.8 ± 2.5 años, 67.7 ± 14.7 kg de peso corporal y una estatura de 171 ± 10 cm. Para todas las mujeres la pierna dominante fue la derecha, mientras que para 11 hombres su pierna dominante fue la derecha y para los cuatro restantes fue la izquierda.

Masa muscular. Para la evaluación de la masa muscular se utilizó un densitómetro dual de rayos X (Lunar Prodigy Primo-General Electric®) con el software enCore 2009® (versión 13.20.033). Con el densitómetro previamente calibrado los sujetos, en ropa ligera, se tendían decúbito dorsal en la camilla, se les colocaba en la posición (cuerpo completo) indicada en el manual de medición y se les pedía que permanecieran lo más tranquilo posible sin moverse para ser escaneados por el brazo del densitómetro. Después del registro corporal y con los datos en la computadora, se llevaba a cabo el análisis de la masa magra de los muslos, dibujando un rectángulo (regiones de interés) en cada muslo, el cual comprendía desde la tuberosidad isquiática hasta la línea femoro-tibial (Figura 1).

Figura 1. Regiones de interés para el análisis de la masa muscular de los muslos (fuente propia).



Fuerza máxima. La medición de la fuerza máxima fue dinámica en su fase concéntrica, se llevó a cabo con la sentadilla unilateral en máquina *Smith* (Gervasport® España), se determinó con una repetición máxima (1-RM), la pierna dominante fue la primera en ser evaluada y un día después la no dominante. Después de cinco minutos de calentamiento en cicloergómetro y dos de estiramiento, se colocaba la barra sobre los hombros y se le pedía que colocara la pierna que iba a ser evaluada, ligeramente por delante de la proyección vertical del centro de gravedad, mientras que el pie de la

pierna contralateral se colocaba sobre un cajón de 25 cm de altura que se encontraba en la parte posterior de la máquina *Smith* (Figura 2). Enseguida se le pedía que bajara flexionando la rodilla, mientras un evaluador medía el ángulo (90°) y otro aseguraba una correa (colocada en un travesaño) para evitar que bajara más allá de lo deseado y, sobre todo, para mayor seguridad de los sujetos. También se marcaba la posición del pie en el piso para que durante todos los intentos fuera la misma posición. Después de establecer la posición se cargaba la barra (con un peso equivalente al 70% del peso corporal del sujeto) y se le pedía al sujeto que realizara ocho sentadillas, las cuales le servían de calentamiento. El descanso entre intentos fue de tres minutos y el aumento de peso era entre un 20 y 30% de la carga inicial, para lo cual se tomaba en cuenta la técnica de ejecución y cómo percibían el esfuerzo, el cual era determinado después de cada intento mostrándole la escala del esfuerzo percibido OMNI-RES (OMNI-Resistance Exercise Scale). Se le pedía al sujeto que realizara dos sentadillas, si los dos levantamientos eran exitosos, entonces se le incrementaba el peso. La prueba terminaba si el sujeto fallaba al levantar el segundo intento o si su técnica era muy deficiente (Loher *et al.*, 2011), tomándose este peso como su fuerza máxima.

Figura 2. Sentadilla unilateral en máquina *Smith* (Fuente propia).



Potencia muscular. La potencia fue evaluada también con la sentadilla unilateral en la máquina *Smith*, además se empleó un *encoder* (transductor de posición lineal) (*Globus, Real Power*[®], Italia) el cual se fijó a uno de los extremos de la barra, se usaron cinco cargas; 30, 40, 50, 60 y 70% del respectivo 1-RM para cada pierna, la distribución de las cargas fue en orden aleatorio. El calentamiento fue el mismo que para determinar la fuerza máxima. Posteriormente, se le pedía que se colocara la barra descargada en los hombros, se le indicaba que bajara hasta que la rodilla de la pierna dominante formara un ángulo de 90° y que mantuviera la posición mientras se le ajustaba la correa y se marcaba el lugar de colocación del pie. Después se le colocaba el peso correspondiente para que realizara el primer intento. Para cada carga el sujeto realizaba tres repeticiones, se le pedía que bajara lentamente hasta que topara con la correa. Para evitar el rebote y el efecto elástico musculotendinoso, el sujeto permanecía un segundo en dicha posición para después hacer el levantamiento lo más rápido posible sin contramovimiento desde la posición descrita. Un minuto y medio después se evaluaba la pierna contraria utilizando las medidas ya realizadas. Para hacer el análisis de las curvas de potencia se usó el *software Tesys 2008-Real Power 20.40 Test*, de las tres repeticiones con cada una de las cargas, se eligió la que tuviera mayor potencia media.

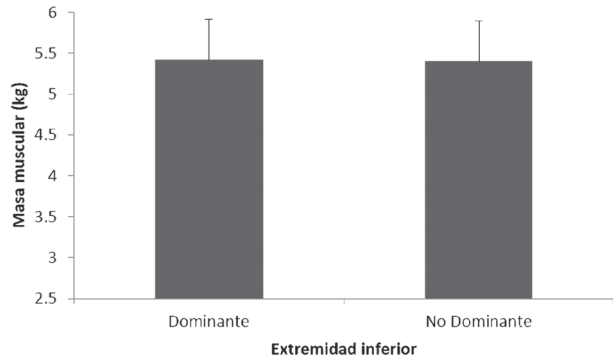
Análisis de resultados

El análisis de los datos se llevó a cabo con el programa estadístico SPSS V. 18.0 (por sus siglas en inglés *Statistical Package for the Social Science*). Los valores descriptivos se muestran como la media y la desviación estándar ($X \pm DS$). En lo que respecta a la comparación de las diferentes variables entre la pierna dominante y la no dominante, primero se analizó la normalidad de los datos con la prueba Shapiro-Wilk, después se aplicó la prueba *t* de *student* para muestras independientes con una $p \leq 0.05$

Resultados

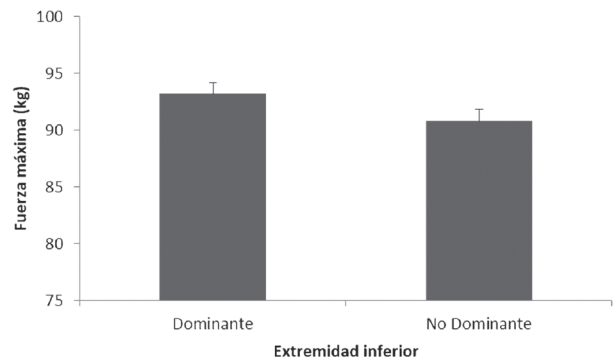
La masa muscular (Figura 3) del muslo de la pierna dominante de los sujetos evaluados fue de 5.42 ± 1.42 kg, mientras que para el muslo de la pierna no dominante fue de 5.37 ± 1.46 kg.

Figura 3. Masa muscular de las extremidades inferiores.



En el caso de la fuerza máxima (Figura 4), para la pierna dominante fue de 93.2 ± 20 kg mientras que para la pierna no dominante de 90.8 ± 21 kg.

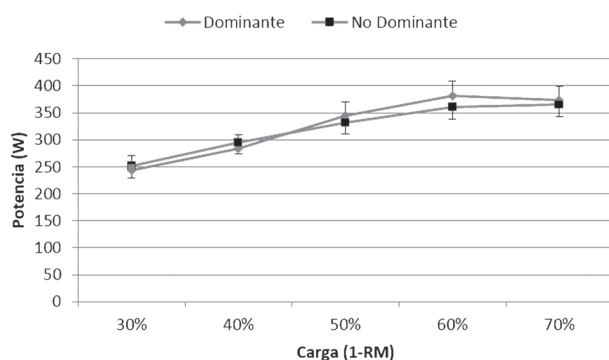
Figura 4. Fuerza máxima de las extremidades inferiores.



Los valores de las diferentes cargas de potencia (Figura 5) fueron; para el 30% la pierna dominante 244 ± 84 W mientras que para la no dominante 251 ± 83 W, para el 40% 283 ± 95 W y 295 ± 93 W para la pierna dominante y la no dominante respectivamente, para el 50% 344 ± 93 W pierna dominante y 332 ± 98 W para la no dominante, para el 60% la pierna dominante y

la no dominante tuvieron valores 382 ± 52 W y 360 ± 88 W respectivamente, por último para el 70% fue de 373 ± 79 W para la dominante y 365 ± 62 W para la no dominante. En ninguna de las variables evaluadas hubo diferencia significativa entre el miembro dominante y el no dominante.

Figura 5. Potencia muscular de las extremidades inferiores a diferentes cargas.



Discusión

Masa muscular. La diferencia de la masa muscular entre la pierna dominante y la no dominante de los sujetos del presente estudio no presentó diferencia significativa. Masuda *et al.* (2003) realizaron un estudio con futbolistas universitarios y aunque encontraron diferencias en la sección transversal del músculo, éstas fueron pequeñas y no significativas, en dicho estudio usaron la imagen de resonancia magnética para determinar la sección transversal del músculo. Demura *et al.* (2001), en un estudio con jóvenes universitarios, encontró que la diferencia de la circunferencia entre el muslo derecho e izquierdo era menor al 1%. Resultados similares encontraron Dorado *et al.* (2002) con golfistas y Krzykata (2010) con un grupo de jugadores de hockey sobre pasto, utilizando la densitometría para determinar el grado de asimetría de los miembros inferiores. Por su parte, Chhibber y Singh (1970) llevaron a cabo un estudio con cadáveres y encontraron que en los miembros inferiores el peso del cuádriceps del miembro

dominante era un 3% mayor en comparación con el no dominante. Sjostrom *et al.* (1991) encontraron que el área muscular de la pierna izquierda era un 7% mayor que la derecha. Por su parte, Tate *et al.* (2006) realizaron un estudio donde evaluaron, con imagen de resonancia magnética, los músculos del cuádriceps por separado, encontrando de 7 a 10% de diferencia entre los músculos de la pierna dominante y la no dominante. También se ha reportado (Kearns *et al.*, 2001) que los fascículos de los músculos de la pierna dominante de futbolistas jóvenes es mayor que en la pierna no dominante, en dicho estudio se utilizó el ultrasonido para determinar el grosor de los fascículos. En el presente estudio el muslo de la pierna dominante fue un 1% mayor que el de la no dominante. Sin embargo, nuestros resultados son difíciles de comparar con otros estudios debido a la diversidad de sujetos y a las diversas herramientas utilizadas para medir la masa muscular.

Fuerza máxima. Aunque en el presente estudio hubo diferencia del 2.5% de la fuerza máxima entre la pierna dominante y no dominante, ésta no fue estadísticamente significativa, sin embargo, fue mayor a la reportada por McCurdy y Langford (2005) de 0.3% para las mujeres y 0.9% para los hombres; a diferencia del presente estudio, ellos utilizaron la sentadilla unilateral modificada con peso libre. Weist *et al.* (2010) llevaron a cabo una investigación con hombres y mujeres jóvenes donde evaluaron la fuerza máxima de la pierna con una máquina extensora de rodillas, encontraron que la fuerza máxima de la pierna dominante era un 4.07% mayor que la no dominante aunque no hubo diferencia significativa entre ambas piernas. Lanshammar y Ribom (2011), en su estudio con mujeres de 20 a 39 años, evaluaron la fuerza isocinética, y encontraron que el cuádriceps de la pierna dominante era mayor un 5.3% que el de la no dominante. Theoharopoulos *et al.* (2000), en un estudio con basquetbolistas profesionales, encontraron que la fuerza de los extensores de la rodilla de la pierna dominante era mayor un

4.5% y un 1.1% para velocidades 60°s^{-1} y 180°s^{-1} respectivamente, en comparación con la pierna no dominante.


Potencia muscular. Al igual que estudios llevados a cabo Baker *et al.* (2001) y por Thomas *et al.* (1996), los sujetos del presente estudio tuvieron la mayor potencia media con cargas del 60-70% de la 1RM, en el mismo sentido, Siegel *et al.* (2002) reportan en su estudio con jóvenes y usando la sentadilla en la máquina Smith, que los valores potencia pico ocurrían con cargas del 60% de la 1RM. Sin embargo, Harris *et al.* (2007) y Thomas *et al.* (2007) reportan que sus sujetos desplegaban la potencia más alta con cargas del 40% de la 1RM. En cuanto a la comparación de la potencia entre la pierna dominante y la no dominante, no mostraron diferencia significativa en ninguna de las cargas usada en su evaluación. Por su parte, Almeida *et al.* (2012) llevaron a cabo un estudio con jóvenes, los cuales debían contar con tres meses como mínimo de no haber realizado actividad física y utilizaron una evaluación isocinética, encontrando un 12% de diferencia entre la pierna dominante y la no dominante. Otra forma de evaluar la potencia en piernas es usando diferentes saltos. Sannicandro *et al.* (2011) encontraron asimetría durante la fase excéntrica y la fuerza de reacción al piso durante el salto contramovimiento de jugadores jóvenes de fútbol. Por su parte, Edwards *et al.* (2012) evaluaron basquetbolistas, jugadores de fútbol y atletas con este mismo salto, y encontraron simetría en las diferentes variables cinéticas y cinemáticas medidas. Schot *et al.* (1994) reportaron que durante el salto había asimetría en los momentos de las articulaciones, así como la fuerza de reacción vertical de las piernas. Samadi *et al.* (2009) no encontraron diferencia significativa en el salto de una sola pierna entre la dominante y la no dominante de tres diferentes grupos de personas. En el presente estudio se encontró que a cargas del 30 y 40%, la pierna no dominante generaba mayor potencia que la dominante, mientras que a cargas del 50, 60 y 70% la potencia de la pierna dominante era mayor.

Conclusiones

De acuerdo con los datos del presente estudio, podemos concluir que los sujetos participantes no presentan diferencia significativa entre la pierna dominante y la no dominante en ninguna de las variables evaluadas. La asimetría (diferencias entre piernas de un 1 a 3.5% en las diferentes variables evaluadas) presentada por los participantes en el presente estudio está entre los niveles de la normalidad que indican valores menores de un 10% de diferencia. Por lo que el riesgo que tienen los sujetos evaluados de presentar una lesión osteomuscular debido al desequilibrio entre extremidades es mínimo.

Literatura citada

- Almeida, G. P., K. K. Almeida, H. Carneiro, and J. Barreto. 2012. Effects of unilateral dominance of the lower limbs on flexibility and isokinetic performance in healthy females. *Fisioterapia em Movimento*, 25(3): 551-559.
- Auerbach, B. M., and C. B. Ruf. 2006. Limb bone bilateral asymmetry: variability and commonality among modern humans. *Journal of Human Evolution*, 50: 2003-2018.
- Baker, D., S. Nance, and M. Moore. 2001. The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1): 92-97.
- Chhibber, S.R., and I. Singh. 1970. Asymmetry in muscle weight and one-sided dominance in the human lower limb. *Journal of Anatomy*, 106(3): 553-556.
- Demura, S., S. Yamaji, F. Goshi, and Y. Nagasawa. 2001. Lateral dominance of legs in maximal muscle power muscular endurance, and grading ability. *Perceptual and Motor Skills*, 93: 11-23.
- Dorado, C., J. Sanchis, G. Vicente, J. A. Serrano, L. P. Rodríguez, and J. A. L. Calbet. 2002. Bone mass, bone mineral density and muscle mass in professional golfers. *Journal of Sports Sciences*, 20: 591-597.
- Drid, P., M. Drapsin, T. Trivic, D. Lukac S. Obadov, and Z. Milosevic. 2009. Asymmetry of muscle strength in elite athletes. *Biomedical Human Kinetics*, 1: 3-5.
- Edwards, S., J. R. Steele, J. L. Cook, C. R. Purdam, and D. E. Mcghee. 2012. Lower limb movement symmetry cannot be assumed when investigating the stop-jump landing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(6): 1123-1130.
- Fousekis, K., E. Tsepis, and G Vagenas. 2010. Lower limb strength in professional soccer players: profile, asymmetry, and training age. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9: 364-373.
- Harris, N. K., J. B. Cronin, and W. G. Hopkins. 2007. Power outputs of a machine squat-jump across a spectrum of loads. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4): 1260-1264.
- Impellizzeri, F. M., E. Rampanini, N. Maffiulitti, and S. Marcora. 2007. A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(11): 2040-2050.

- Kearns, C. F., M. Isokawa, and T. Abe. 2001. Architectural characteristics of dominante leg muscles in junior soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 85: 240-243.
- Krzykata, M. 2010. Dual energy X-ray absorptiometry in morphological asymmetry assessment among field hockey players. *Journal of Human Kinetics*, 25: 77-84.
- Krzykata, M. 2012. DXA as a tool for the assessment of morphological asymmetry in athletes. Prof. Abdelah El Marghroui (Ed.) ISBN: 978-953-307-877-9 59-74.
- Lanshammar, K., and E. L. Ribom. 2011. Differences in muscle strength in dominant and non-dominant leg in females aged 20-39 years- A population-based study. *Physical Therapy in Sport*, 12: 76-79.
- Loher, J. A., S. M. C. Lee, K. L. English, J. Sibonga, S. M. Smith, B. A. Spiering, and R. D. Hagan. 2011. Musculoskeletal adaptations to training with the advanced resistive exercise device. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(1): 146-156.
- Longman, D., J. T. Stock, and J. C. K. Wells. 2011. Fluctuating asymmetry as a predictor for rowing ergometer performance. *Training and Testing*, 32: 606-610.
- Masuda, K., N. Kikuhara, H. Takahashi, and K. Yamanaka. 2003. The relationship between muscle cross-sectional area and strength in various isokinetic movements among soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 21: 851-858.
- McCurdy, K., and G. Langford. 2005. Comparison of unilateral squat strength between dominant and non-dominant leg in men and women. *Journal of Sport Science and Medicine*, 4: 153-159.
- Newton, R.U., A. Gerber, S. Nimphius, J.K. Shim, B.K. Doan, M. Robertson, D.R. Pearson, B.W. Craig, K. Hakkinen, and W.J. Kraemer. 2006. Determination of functional strength imbalance of the lower extremities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4): 971-977.
- Pizzigalli, L., A. Filippini, S. Ahmadi, H. Jullien, and A. Rainoldi. 2011. Prevention of falling risk in elderly people: the relevance of muscular strength and symmetry of lower limbs in postural stability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2): 567-574.
- Rahnama, N., and E. Bambaiechi. 2008. Musculoskeletal assessment in soccer: a review. *Journal of Movement Sciences and Sports*, 1: 13-24.
- Samadi, H., R. Rajabi, H. Minoonejad. and A. Aghaiari. 2009. Asymmetries in flexibility, balance and power associated with preferred and non-preferred leg. *World Journal of Sport Sciences*, 2(1): 38-42.
- Sannicandro, I., R. A. Rosa, S. De Pascalis, and A. Piccinno. 2012. The determination of functional asymmetries in the lower limbs of young soccer players using the countermovement jump. The lower limbs asymmetry of young soccer players. *Science and Sports*, 27: 375-377.
- Schot, P. K., B.T. Bates, and J. S. Dufek. 1994. Bilateral performance symmetry during drop landing: a kinetic analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(9):1153-1159
- Siegel, J. A., R. M. Gilders, R. S Staron, and F. C. Hagerman. 2002. Human muscle power output during upper and lower-body exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2): 173-178.
- Sjostrom M., J. Lexell, A. Eriksson, and C. C. Taylor. 1991. Evidence of fibre hyperplasia in human skeletal muscles from healthy young man? *European Journal of Applied Physiology*, 62: 301-304.
- Stewart, S., W. Stanton, S. Wilson, and J. Hides. 2009. Consistency in size and asymmetry of the psoas major muscle among elite footballers. *British Journal of Sports Medicine*, 44: 1173-1177
- Stradijot, F., G. M. Pittorru, and M. Pinna. 2012. The functional evaluation of lower limb symmetry in a group of young elite judo and wrestling athletes. *Isokinetics and Exercise Science*, 20: 13-16.
- Tate, C. M., G. Williams, P. J. Barrance, and T. S. Buchanan. 2006. Lower extremity muscle morphology in young athletes: an MRI-based analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(1): 122-128.
- Theoharopoulos, A., G. Tsitskaris, M. Nikopoulou, and P. Tsaklis. 2000. Knee strength of profesional basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(4): 457-463.
- Thomas, G. A., W. J. Kraemer, B. A. Spiering, J. S. Volek, J. M. Anderson, and C. M. Maresh. 2007. Maximal power at different percentages of one repetition maximum: influence of resistance and gender. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2): 336-342.
- Thomas, M., M. A. Fiatarone, and R. A. Fielding. 1996. Leg power in young women: Relationship to body composition, strength, and function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28: 1321-1326.
- Thomeé, R., C. Neeter, A. Gustavsson, P. Thomeé, J. Augustsson, B. Eriksson, and J. Karlsson. 2012. Variability in leg muscle power and hop performance after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee*, 20: 1143-1151.
- Wiest, M. J., F. Dagnese, and F. P. Carpes. 2010. Strength symmetry and imprecise sense of effort in knee extension. *Kinesiology*, 42(2): 164-168. 

Este artículo es citado así:

Candia-Luján, R. y J.A.D. Paz-Fernández. 2015. Asimetría de la masa, fuerza y potencia muscular de los miembros inferiores de estudiantes universitarios. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 9(1): 22-29.

Resumen curricular del autor y coautores

RAMON CANDIA LUJÁN. Licenciado en Educación Física por la Universidad Autónoma de Chihuahua, egresado de la primera generación de maestros en ciencias del deporte; opción biología de la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por la Universidad de León, España. Docente de la Facultad de Ciencias de la Cultura Física de la Universidad Autónoma de Chihuahua desde 1992 a la fecha. Ha participado como ponente en diversos congresos y dirigido tesis de maestría y licenciatura.

JOSÉ ANTONIO DE PAZ FERNÁNDEZ. Licenciado en Medicina y Cirugía por la Universidad de Oviedo. Certificado de Estudios Especiales de Biología y Medicina aplicados al Deporte Facultad de Medicina Louis Pasteur, Universidad Estrasburgo (Francia). Doctor en Medicina y Cirugía por la Universidad de Salamanca. Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte, realizado en la Escuela Príncipe de Asturias de la Universidad de Oviedo. Profesor visitante de la universidades como la Europea de Madrid, Universidad Luterana de Brasil, la Universidad Federal de Santa María de Río Grande del Sur y Universidad de Sonora. Profesor Titular del Departamento de Ciencias Biomédicas, Universidad de León. Ha dirigido 42 tesis Doctorales 71 Tesis de Maestría y 12 tesis de fin de Grado. Investigador Principal en 16 proyectos de Investigación I+D+I. Ha participado como Ponente Invitado en 84 congresos Internacionales. Tiene 41 artículos en revistas indexadas en JCR, 48 en revistas indexadas en Latindex y 16 capítulos de libros. Médico-Fisiólogo desde 1994, de equipos Ciclistas Profesionales como el Santa Clara, Banesto, Liberty Seguros, Saunier Duval, Relax o Paredes Rota dos Moveis o la Federación Española de ciclismo.

Concordancia de la medición del sistema antioxidante total en sangre capilar y en sangre venosa

Concordance of measurement of total antioxidant system in capillary blood and venous blood

JUDITH MARGARITA RODRÍGUEZ-VILLALOBOS¹, LIDIA GUILLERMINA DE LEÓN-FIERRO^{1,2}
Y CLAUDIA ESTHER CARRASCO-LEGLEU¹

Recibido: Julio 30, 2015

Aceptado: Agosto 26, 2015

Resumen

La determinación del sistema antioxidante total (SAT) en sangre capilar puede ser una opción confiable, práctica y mínimamente invasiva respecto a su medición en sangre venosa, lo que representa una ventaja en el estudio de este parámetro de reciente interés clínico, nutricional y deportivo, por su relevancia dentro de sistema inmunológico. Con el propósito de establecer la concordancia de la medición del SAT en sangre capilar con respecto a su determinación en sangre venosa, se realizó un estudio correlacional de corte transversal en 12 adultos clínicamente sanos. En condiciones de ayuno de ocho horas, se extrajeron muestras sanguíneas de la vena antecubital de un brazo y de la yema de uno de los dedos de la mano de cada participante en forma simultánea. El SAT proveniente del plasma se analizó por medio del ensayo de la Capacidad Antioxidante en Equivalentes de Trolox (TEAC, por su siglas en inglés), ajustado por la concentración de proteína calculada con la técnica del ácido bicinconínico. Se realizó un análisis estadístico con un modelo de regresión lineal y con un esquema de Bland y Altman en los que se encontró un alto grado de concordancia entre ambos métodos de extracción sanguínea ($r=0.91$, $a=0$, $b=0.967$). Se concluyó que la determinación de SAT en plasma capilar es una alternativa viable con un buen grado de asociación y concordancia en comparación con su determinación en plasma venoso.

Palabras clave: extracción venosa, extracción capilar, concordancia, asociación, sistema antioxidante total.

Abstract

Determination of the total antioxidant system (SAT by its abbreviations in Spanish) in capillary blood can be a reliable, practical and minimally invasive option regarding its measurement in venous blood, and represents an advantage in the study of this parameter by its recent clinical, nutritional and sporting interest due its relevance in the immune system. In order to establish the correlation of SAT measurement of capillary blood with respect to its determination in venous blood, a correlational cross-sectional study in 12 clinically healthy adults was conducted. Under eight-hour fasting conditions, blood samples from the antecubital vein and one of the fingertips of each participant were simultaneously extracted. The SAT from plasma was analyzed by testing the antioxidant capacity equivalents of Trolox (TEAC as its acronym in English), adjusted for protein concentration calculated using bicinchoninic acid technique. A statistical analysis with a linear regression model with a Bland and Altman scheme in which a high degree of concordance between both blood collection methods was found ($r=0.91$, $a=0$, $b=0.967$). It was concluded that SAT determination in capillary plasma is a viable alternative with a good degree of association and consistency, compared with venous plasma determination.

Keywords: venous sampling, capillary sampling, concordance, association, total antioxidant system.

¹ Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias de la Cultura Física, Ciudad Universitaria C. P. 31009. Chihuahua, Chih., México. Tel. (614) 413-0433.

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

Introducción

La efectividad y diversificación en los métodos de evaluación bioquímica ha sido un factor clave en el desarrollo de los procedimientos científicos. Diversos analitos han sido validados en diferentes tejidos, fluidos corporales y sitios de extracción, entre los que destacan el lactato sanguíneo (Contenti, Corraze, Lemoël & Levraut, 2014), la hemoglobina (Patel, Wesley, Leitman & Bryant, 2013), la glucosa (Carstensen, Lindström, Sundvall, Borch-Johnsen & Tuomilehto, 2008; Ignell & Berntorp, 2011) y la capacidad del sistema antioxidante total (SAT) (Youssef *et al.*, 2008) que ha despertado cada vez mayor interés clínico, nutricional y deportivo debido a que es una de las principales estrategias de defensa ante los ambientes biológicamente hostiles.

Si bien, aún no es posible conocer a fondo y controlar la complejidad funcional del SAT, las investigaciones han sido orientadas a comprender, estimular y fortalecer la respuesta antioxidante del sistema inmunológico, con el propósito de generar opciones de protección fisiológica contra aquellos daños derivados de la sobreproducción de oxidantes (Niki, 2010); mantener el equilibrio bioquímico es una prioridad sistémica, ya que si fallase uno de los mecanismos protectores contra los agentes oxidantes, la acción de estos se volvería incontrolable, dañando moléculas, células y órganos, causando la muerte del organismo (Īuraèková, 2014).

Aunque existen varios ensayos para la determinación del SAT (Kolomvotsou *et al.*, 2013), cualquiera de estos resulta ser una medida parcial, ya que ninguno es sensible a la totalidad del complejo de moléculas antioxidantes (Golbidi, Badran & Laher, 2011). Tales procedimientos han sido desarrollados principalmente en sangre venosa y no en sangre capilar, lo que limita su uso práctico y en investigación.

Generar una alternativa metodológica que disminuya el grado de invasividad, diversifique y mejore la practicidad de la extracción sanguínea, será de gran utilidad para la determinación del SAT, ya que no solo ayudará a optimizar los métodos de evaluación en dicho proceso bioquímico (Rautiainen, Serafini, Morgenstern, Prior & Wolk, 2008; Bartosz, 2010;

Fraga, Oteiza & Galleano, 2014), sino además favorecerá el monitoreo continuo cuando así se requiera y aumentará la variedad en el diseño metodológico de utilidad científica.

El objetivo del presente estudio fue establecer la concordancia de la medición del sistema antioxidante total (SAT) en sangre capilar con respecto a su determinación en sangre venosa.

Materiales y métodos

Sujetos

Participaron 12 personas adultas con edades entre 23 y 50 años. Se realizó un muestreo por cuotas en una institución educativa, tomando como criterios de exclusión estar enfermos al momento del estudio o tomando algún tipo de medicamento y/o suplemento. Los participantes aceptaron participar voluntariamente y firmaron una carta de consentimiento informado con la descripción clara de los procedimientos y los riesgos del estudio redactada con base en la normativa vigente.

Diseño

Es un estudio cuantitativo, no experimental, correlacional y de corte transversal. A cada participante se le extrajo una muestra de sangre venosa y una capilar, en ayuno no menor de ocho horas. La variable de observación fue el SAT obtenido por medio del ensayo de TEAC, ajustado por la concentración de proteína calculada con la técnica del ácido bicinónico.

Instrumentos, técnicas y procedimientos

La primera muestra fue de 4 ml extraída al vacío de la vena antecubital; se utilizaron agujas y tubos BD Vacutainer k2 EDTA 7.2 mg. La muestra capilar fue extraída de la yema de los dedos por cuadruplicado (microtubos heparinizados de 75 µl marca Lauka); para la punción se utilizaron portalancetas (OEM service) y lancetas esterilizadas de acero inoxidable; la sangre se centrifugó 10 minutos a temperatura ambiente (SOLBAT modelo c-300 y Eppendorf modelo 5415 C, respectivamente). El plasma fue almacenado en tubos eppendorf a una temperatura de -20 °C hasta su posterior análisis.

En cada muestra se determinó por duplicado la concentración de proteína utilizando la técnica del ácido bicinonínico (Thermo Scientific). Brevemente, se preparó una dilución de la muestra 1:500 con Tris-HCl 10 mM (J.T. Baker); se colocaron 10 ml de la dilución por pozo en una placa de Elisa; se añadieron 200 ml de una mezcla de 12.5 ml de ácido bicinonínico con 0.025 ml de sulfato de cobre. La placa se colocó durante cinco minutos a 85 °C y se dejó enfriar 30 min a temperatura ambiente. El valor de la proteína se obtuvo a partir de una curva realizada con solución estándar de albúmina, la lectura se identificó a una longitud de onda de 550 nm (espectrofotómetro BioTek ELx800).

La determinación del SAT se realizó siguiendo los lineamientos de la casa comercial Biovision (catálogo K274-100). Se mezclaron 10 ml de plasma (dilución 1:50) con 50 ml de solución de trabajo y se dejó actuar a temperatura ambiente por una hora y media. Al final se adicionaron 100 ml de agua destilada para proceder a la lectura en el espectrofotómetro a 550 nm. La curva de referencia para SAT se realizó con concentraciones conocidas de Trolox como antioxidante y se expresó en nmol/ml/mg de proteína.

Se utilizó material desechable y estéril para todos los procesos y el manejo de los desechos biológicos infecto-contagiosos se realizó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana vigente.

Análisis Estadístico

Cada grupo de muestras sanguíneas se analizó descriptivamente con media, desviación estándar, error estándar e intervalo de confianza al 95%. Se determinó la normalidad en cada conjunto de datos con la prueba de Shapiro-Wilk. Para evaluar la concordancia se calcularon media y desviación estándar de las diferencias, límites a 1.96 desviaciones estándar alrededor de la media de las diferencias y se estableció el intervalo de concordancia en los valores de SAT entre plasma venoso y capilar a través de un gráfico de Bland y Altman (Bland & Altman, 2003). Finalmente, se determinó la correlación y se realizó un modelo de regresión lineal entre ambos tipos de muestra, utilizando como variable dependiente a la sangre venosa y como variable predictora a la sangre capilar. El nivel de significancia para todas las relaciones fue de 0.05.

Resultados

La media y desviación estándar de SAT en el conjunto de muestras de plasma venosa fueron 185.03 ± 24.57 nmol/µl/µg, mientras que en plasma capilar fueron 193.65 ± 21.33 nmol/µl/µg, con un error estándar de la media de 7.09 y 6.15 nmol/µl/µg respectivamente. El límite inferior del intervalo de confianza al 95% se encontró en 169.41 nmol/µl/µg y el superior en 200.65 nmol/µl/µg en el caso del plasma venoso; en el plasma capilar el límite inferior se ubicó en 180.10 nmol/µl/µg y el superior en 207.21 nmol/µl/µg (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores descriptivos de SAT en plasma venoso y capilar.

Muestra	N	Media ± DS (nmol/µl/µg)	EEM (nmol/µl/µg)	CV (%) Media ± D	IC 95% (nmol/µl/µg)
Venosa	12	185.03 ± 24.57	7.09	4.33 ± 2.50	169.41 - 200.65
Capilar	12	193.65 ± 21.33	6.15		180.10 - 207.21

DS = desviación estándar; EEM = error estándar de la media; CV = coeficiente de variación entre los valores de capilar y venosa; IC = intervalo de confianza para los valores de la media.

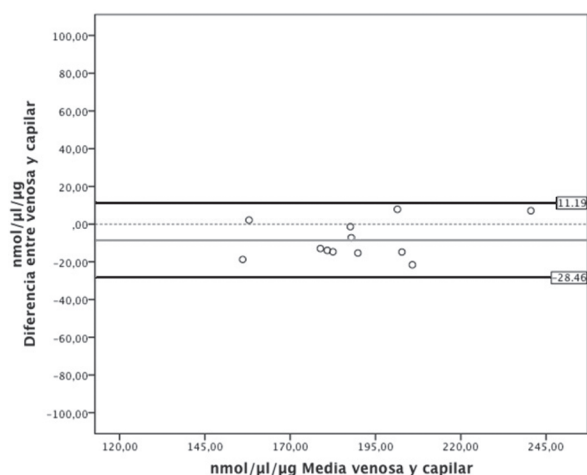
Se observó la concordancia a través de una gráfica de Bland y Altman, estableciendo los límites a ± 1.96 desviaciones estándar de la media de las diferencias. Se encontró una media de las diferencias de -8.62 ± 10.11 nmol/ $\mu\text{l}/\mu\text{g}$ de SAT entre las muestras provenientes de plasma venoso y capilar con un intervalo de confianza entre -15.04 y -2.19 . El límite superior fue de 11.19 nmol/ $\mu\text{l}/\mu\text{g}$ y el inferior en -28.46 nmol/ $\mu\text{l}/\mu\text{g}$. El intervalo de concordancia obtenido fue 39.65 nmol/ $\mu\text{l}/\mu\text{g}$. Gráficamente no se observan valores fuera de los límites del intervalo de concordancia (Cuadro 2 y Figura 1).

Cuadro 2. Análisis de las diferencias en los valores de SAT entre plasma venoso y capilar.

Muestra	N	Media diferencias (IC 95%)	DS	Límite concordancia		Intervalo de concordancia
				Superior	Inferior	
Venosa-capilar	20	-8.62 (-15.04, -2.19)	10.11	11.6	-28.84	39.65

IC = intervalo de confianza; DS = desviación estándar de las diferencias entre plasma venoso y capilar.

Figura 1. Gráfica de Bland and Altman para observar concordancia entre SAT de sangre venosa y sangre capilar. La línea gris continua indica la media de las diferencias entre SAT capilar y venoso; las líneas negras son los límites de concordancia a 1.96 desviaciones estándar de la media de las diferencias.



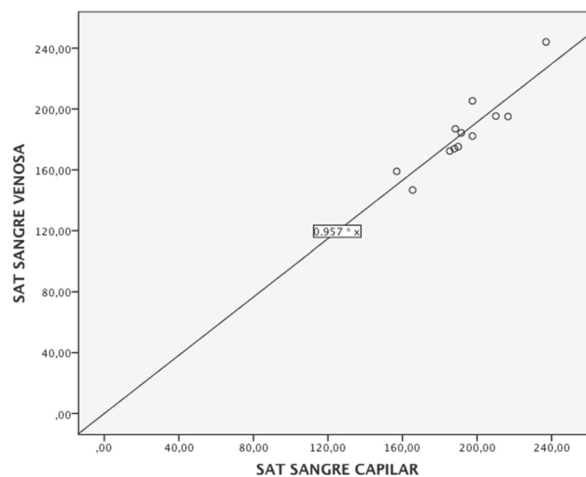
La correlación de Pearson encontrada fue significativa y directa ($r=0.91$, $P<0.001$). Se calcularon los coeficientes de regresión lineal simple con la muestra venosa como variable dependiente y la muestra capilar como variable

predictora. El valor de la constante o intercepto se ajustó a cero debido a que resultó no significativamente distinta de ese valor. El coeficiente B después del ajuste en la constante, obtuvo un valor de 0.957 nmol/ $\mu\text{l}/\mu\text{g}$ por cada nmol/ $\mu\text{l}/\mu\text{g}$ de plasma capilar. El error estándar de estimación fue de 10.24 nmol/ $\mu\text{l}/\mu\text{g}$ al predecir los valores de SAT en plasma venoso a través de los valores de SAT en plasma capilar (Cuadro 3 y Figura 2). La ecuación de predicción es significativa y se representa de la siguiente manera: $Y'=0.957 X$.

Cuadro 3. Análisis de regresión lineal para valores de SAT entre plasma venoso (dependiente) y capilar (independiente).

Muestra	CC	EEE	Sig.	Intercepto	Pendiente
Venosa/capilar	0.91	10.54	0.001	0 ^(*)	0.957

Figura 2. Regresión lineal simple entre SAT de plasma venoso (dependiente) y plasma capilar (predictor).



Discusión

Los valores de media de SAT extraídos de plasma capilar y venoso, difieren entre sí menos del 5%, con valores de error estándar muy semejantes. Se muestra una amplitud considerable en el intervalo de confianza derivada posiblemente de una gran dispersión entre los sujetos, no obstante, la desviación estándar en ambos métodos es similar, lo que indica que la variación observada es equivalente entre los dos tipos de muestra.

Como era lo esperado, hubo un aceptable grado de concordancia entre los valores de SAT venoso y capilar; a través del gráfico de Bland y Altman se puede observar que no aparecen valores fuera de los límites de concordancia establecidos a 1.96 desviaciones estándar alrededor de la media de las diferencias, sin embargo, el valor de la media está por debajo de cero, es decir, al restar los valores venosos de los capilares, un resultado negativo indica valores menores en plasma venoso con relación a los valores determinados en plasma capilar incluso en el extremo superior del intervalo de confianza para la media de las diferencias. Este evento fue observado de manera similar por Schweigert (Schweigert, Klingner, Hurtienne & Zunft, 2003) al comparar la concentración de vitaminas en sangre, encontró que los valores eran más altos en plasma capilar y sugirió que pudo deberse a la diferencia en la presión hidrostática y la presión osmótica coloidal; así mismo, ha ocurrido con otros analitos como colesterol (Sblendorio, Palmieri & Riccionii, 2008), triglicéridos y glucosa (Ignell & Berntorp, 2011) en los que los métodos son equiparables pero con sobreestimación en el caso de la muestra capilar. Por el contrario, Youssef *et al.*, que en 2008 compararon el SAT en plasma, reportaron valores ligeramente mayores (3.1%) en la muestra venosa con respecto a la capilar (Youssef *et al.*, 2008).

El intervalo de concordancia observado en la gráfica de Bland y Altman, fue del 21% alrededor de la media, mayor de lo esperado; lo que pudiera atribuirse a la variación propia de los valores entre sujetos en ambas muestras.

Por otra parte, la correlación de Pearson se encontró en un valor alto y significativo; aunque la correlación por sí misma es insuficiente, se refuerza con los datos de concordancia ya mencionados y por el modelo de regresión lineal que mostró una pendiente con un valor de 0.967. En este sentido, es consistente considerar que la muestra de plasma capilar genera valores más altos que la

de plasma venoso, ya que la ecuación reporta un valor en la pendiente ligeramente por debajo de la unidad, una vez que se ha ajustado el valor del intercepto que resultó no diferente de cero. Este ajuste favoreció la ecuación predictora, ya que el error estándar de estimación igualmente se modificó a un valor de 10.54 nmol/ μ l/ μ g que es menos del 6% del valor de la media encontrada en la variable a predecir. De manera similar, Youssef *et al.* (2008) reportaron un modelo de regresión lineal entre capacidad antioxidante de plasma capilar y venoso en triatletas; al contrario del presente estudio, obtuvieron un intercepto significativo con una pendiente menor; aunque no se reportó el error estándar de estimación. Los autores manifestaron que los métodos son comparables y que la extracción capilar facilita el seguimiento regular en deportistas, además de ser más sencillo durante el ejercicio debido a la vasodilatación.


Conclusiones

Aún cuando el tamaño de muestra es pequeño y se observa una considerable dispersión de valores entre los sujetos, hay suficiente información para identificar un buen grado de asociación y concordancia entre ambos métodos de extracción, pero con valores sobreestimados en el caso de las muestras de plasma capilar, dentro de un aceptable error de estimación. Con lo anterior, se concluye que la determinación de SAT en plasma capilar es una alternativa válida comparada con su determinación en plasma venoso.

Agradecimientos

Este proyecto fue parcialmente financiado por la Universidad Autónoma de Chihuahua a través de la Facultad de Ciencias de la Cultura Física y por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología dentro del Programa de Fortalecimiento Académico de Posgrado de Alta Calidad.

Literatura Citada

- Bartosz, G. 2010. Non-enzymatic antioxidant capacity assays: limitations of use in biomedicine. *Free radical research*, 44(7): 711-720.
- Bland, J., & Altman, D. G. 2003. Applying the right statistics: analyses of measurement studies. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*, 22: 85-93.
- Carstensen, B., Lindström, J., Sundvall, J., Borch-Johnsen, K., & Tuomilehto, J. 2008. Measurement of blood glucose: comparison between different types of specimens. *Annals of clinical biochemistry*, 45(2): 140-148.
- Contenti, J., Corraze, H., Lemoël, F., & Levraut, J. 2014. Effectiveness of arterial, venous, and capillary blood lactate as a sepsis triage tool in ED patients. *The American journal of emergency medicine*.
- Čuračková, Z. 2014. Free Radicals and Antioxidants for Non-Experts. In I. Laher (Ed.), *Systems Biology of Free Radicals and Antioxidants*. 1: 3-38. Berlin Heidelberg: Springer Reference.
- Fraga, C. G., Oteiza, P. I., & Galleano, M. 2014. In vitro measurements and interpretation of total antioxidant capacity. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, 1840(2), 931-934. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbagen.2013.06.030>.
- Golbidi, S., Badran, M., & Laher, I. 2011. Antioxidant and anti-inflammatory effects of exercise in diabetic patients. *Experimental diabetes research*, 2012.
- Ignell, C., & Berntorp, K. 2011. Evaluation of the relationship between capillary and venous plasma glucose concentrations obtained by the HemoCue Glucose 201+ system during an oral glucose tolerance test. *Scandinavian Journal of Clinical & Laboratory Investigation*, 71(8): 670-675.
- Kolomvotsou, A. I., Rallidis, L. S., Mountzouris, K. C., Lekakis, J., Koutelidakis, A., Efstathiou, S., . . . Zampelas, A. 2013. Adherence to Mediterranean diet and close dietetic supervision increase total dietary antioxidant intake and plasma antioxidant capacity in subjects with abdominal obesity. *European journal of nutrition*, 52(1): 37-48.
- Niki, E. 2010. Assessment of Antioxidant Capacity in vitro and in vivo. *Free Radical Biology and Medicine*, 49(4), 503-515. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.04.016>
- Patel, A. J., Wesley, R., Leitman, S. F., & Bryant, B. J. 2013. Capillary versus venous haemoglobin determination in the assessment of healthy blood donors. *Vox sanguinis*, 104(4): 317-323.
- Rautiainen, S., Serafini, M., Morgenstern, R., Prior, R. L., & Wolk, A. 2008. The validity and reproducibility of food-frequency questionnaire-based total antioxidant capacity estimates in Swedish women. *The American journal of clinical nutrition*, 87(5): 1247-1253.
- Sblendorio, V., Palmieri, B. P., & Riccionii, G. 2008. Blood cholesterol concentration measured by CR3000: fingerstick versus venous sampling. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*, 21(3): 729-733.
- Schweigert, F. J., Klingner, J., Hurtienne, A., & Zunft, H. J. 2003. Vitamin A, carotenoid and vitamin E plasma concentrations in children from Laos in relation to sex and growth failure. *Nutrition Journal*, 2.
- Youssef, H., Groussard, C., Machefer, G., Minella, O., Couillard, A., Knight, J., & Gratas-Delamarche, A. 2008. Comparison of total antioxidant capacity of salivary, capillary and venous samplings: interest of the salivary total antioxidant capacity on triathletes during training season. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 48(4): 522-529. 

Este artículo es citado así:

Rodríguez-Villalobos, J.M., L.G. De León-Fierro y C.E. Carrasco-Legleu. 2015. Concordancia de la medición del sistema antioxidante total en sangre capilar y en sangre venosa. *TECNOCENCIA Chihuahua* 9(1): 30-35.

Resumen curricular del autor y coautores

JUDITH MARGARITA RODRÍGUEZ VILLALOBOS. Terminó su licenciatura en 2003, año en que le fue otorgado el título de Licenciada en Educación Física por la Facultad de Educación Física y Ciencias del Deporte de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en la misma institución, donde obtuvo el grado de Maestra en Ciencias del Deporte opción biología en el año 2006. Labora en la Universidad Autónoma de Chihuahua desde el año 2006, actualmente como docente de tiempo completo. Su línea de investigación es fisiología y bioquímica del ejercicio. Ha dirigido 3 tesis de nivel licenciatura y 5 de nivel maestría. Es autora de 3 artículos científicos en revistas indexadas y arbitradas, coautora en 10. Participación como coautor de 5 artículos publicados en memorias en extenso. Responsable del cuerpo académico UACH-121 con el grado de "en consolidación". Responsable técnico de un proyecto de Red con cuerpos académicos nacionales y extranjeros, financiado por PRODEP durante 3 años.

LIDIA GUILLERMINA DE LEÓN FIERRO. En 1983 le fue otorgado el título de Médico Cirujano y Partero por la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en la Facultad de Educación Física y Ciencias del Deporte de la misma Universidad donde obtuvo su grado de Maestra en Ciencias del Deporte, Opción Biología en 1995. El grado de Doctora en Ciencias lo obtuvo en 2010 por la Universidad de Granada, España, en el área de Actividad Física y Salud. Desde 1992 labora en la Facultad de Ciencias de la Cultura Física de la UACH con la categoría de Académico titular C; institución donde realiza investigación en las áreas de antropometría y fisiología de la actividad física, específicamente el estudio del metabolismo energético de reposo y del ejercicio, perfil morfológico-antropométrico y actividad física en niños y adultos con enfermedades crónicas no transmisibles. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2012 (Nivel 1 2012-2014; 2015-2018). Ha dirigido 3 tesis de licenciatura, 26 de maestría y 3 de doctorado. Es autora de diversos artículos en revistas indexadas y arbitradas, en memorias en extenso, carteles y presentaciones orales en congresos nacionales e internacionales y conferencias por invitación. Es Antropometrista Criterio Internacional Nivel 4 de ISAK y Coordinadora de cursos de Certificación Internacional en Antropometría ISAK; Evaluadora de proyectos de CONACYT (RCEA), Coordinadora académica para la Red Euroamericana de Actividad Física, Educación y Salud (REAFES) y responsable del Cuerpo Académico UACH- 104 "Estilos de Vida Saludable y Actividad Física" que se encuentra Consolidado.

CLAUDIA ESTHER CARRASCO LEGLEU. Realizó sus estudios de licenciatura en la Facultad de Ciencias Químicas (FCQ) de la Universidad de Sonora (UNISON), obteniendo en 1996 el título de Químico Biólogo con especialidad en Análisis Clínicos. En el año 1998 le fue otorgado el grado de Maestro en Ciencias, con especialidad en Biología Celular, y en 2003 su Doctorado en Ciencias, con la misma especialidad, ambos grados conferidos por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV-IPN) con sede en la ciudad de México, D.F. Desde el año 2007 trabaja como maestra de Tiempo Completo en la Facultad de Ciencias de la Cultura Física de la UACH, institución donde realiza investigación enfocada en el área de la actividad física, estrés oxidativo y salud, participando en el cuerpo académico CA-104 "Estilos de vida saludable y actividad física" que se encuentra Consolidado.

Métodos para el cálculo de la socavación local en pilas de puentes

Methods for quantification of local scour at bridge piers

ANTONIO CAMPA RODRIGUEZ¹, FERNANDO RAFAEL ASTORGA BUSTILLOS^{1,2}

Recibido: Diciembre 4, 2013

Aceptado: Junio 19, 2015

Resumen

La socavación local en las pilas y estribos es la principal causa de fallas de los puentes. El objetivo de esta investigación fue evaluar las metodologías para el cálculo de la socavación local en las pilas de puentes. Se analizaron 11 métodos para el cálculo de la socavación en pilas de puentes. Se evaluaron los parámetros que contemplan las metodologías más utilizadas para el cálculo de socavación local en pilas, considerando sus ventajas y desventajas. Para el análisis se agruparon los parámetros en tres tipos: hidráulicos (velocidad, tirante y peso específico), geométricos (ancho, forma y ángulo de ataque) y geotécnicos (diámetro de partículas y peso específico). Los parámetros más utilizados en los métodos evaluados son los geométricos, posteriormente los hidráulicos y los menos utilizados son los parámetros geotécnicos del material del cauce. La mayoría de los autores coinciden que las variables que influyen en el fenómeno de socavación local de las pilas de los puentes en orden de importancia son: las dimensiones transversales de la pila, la velocidad de la corriente y su tirante, finalmente la granulometría del material del cauce.

Palabras clave: erosión, partículas en suspensión, velocidad de erosión, vórtices.

Abstract

Local scour at piers and abutments is the main cause of failure in bridges. The objective of this research is a review of methodologies for calculating the local scour at pier piers of bridges. 11 methods for the calculation of scour of the piers of bridges were analyzed. It was compared what parameters contemplated each considering their advantages and disadvantages. For the analysis, the parameters were grouped into three types: hydraulic (velocity, depth and specific gravity), geometric (width, shape and angle of attack) and geotechnical (particle diameter and specific gravity). The most commonly used parameters are geometrical, and then hydraulic and least used are the geotechnical parameters of the channel material. Most authors agree that the variables that influence the phenomenon of local scour of the piers of bridges in order of importance are: the transverse dimensions of the pier, the current velocity and depth, and finally the granulometry of the riverbed material.

Keywords: erosion, suspended particles, erosion velocity, vortex.

¹ Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ingeniería. Circuito No. 1, Campus Universitario 2. Chihuahua, Chih., programa de Doctorado en Ingeniería.

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

Introducción

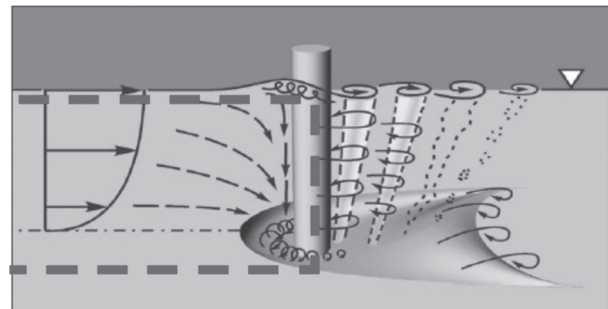
La socavación es un fenómeno natural causado por la acción de la erosión del agua que fluye en los cauces de ríos y canales. La socavación local es la eliminación de los sedimentos alrededor de los elementos estructurales que se encuentran en el flujo del agua. Esto significa el descenso del nivel del lecho del río por la erosión del agua, de tal manera que hay una tendencia para exponer la cimentación de los puentes como resultado de la acción erosiva de las corrientes de agua, a medida que la erosión progresa continuamente, socava los cimientos de la estructura originando el colapso de ésta (Khwairakpam y Mazumdar, 2006).

Según el modo de transporte de los sedimentos desde aguas arriba del flujo, las formas de socavación local se clasifican en socavación en agua clara y socavación en lecho móvil. La socavación en agua clara se produce cuando el sedimento es removido de la fosa de erosión pero no existe reabastecimiento del hueco socavado; mientras la socavación en lecho móvil se produce cuando hay un transporte de sedimentos, por lo que parte de este sedimento se queda atrapado en el hueco de socavación (Dey *et al.*, 1995). Solo en Estados Unidos, la socavación en las pilas de los puentes es la principal causa de falla en más de 487,000 puentes (Landers y Mueller, 1996). Varios investigadores como Lefter (1993), la FHWA (1998) y Antunes (2005) la han reportado que la causa principal del colapso de los puentes en Estados Unidos es la socavación.

La mayoría de las fallas de los puentes en el mundo son por socavación, principalmente debido a la socavación de sus pilas o estribos, habiéndose determinado que el 50% de las fallas se deben a este fenómeno (Richardson, 1999). Otros estudios referentes a puentes y obras menores elevan el porcentaje de falla por socavación a un 90% del total de los casos (Smith, 1979). En México se carecen de estudios referentes, sin embargo, la experiencia en casos atendidos en diversas dependencias relacionadas con la infraestructura de las vías terrestres, permite estimar que la socavación es la causa del 90% de los colapsos en los puentes (Solares, 1989).

La socavación local en las pilas de los puentes es causada por el cambio de dirección de las líneas de corriente, la turbulencia, la aceleración del flujo y los vórtices resultantes inducidos por la obstrucción al flujo (Raudkivi, 1986). En las pilas dentro del cauce, se producen una serie de turbulencias, las cuales hacen que el nivel del río descienda especialmente junto a estas estructuras, alrededor de las pilas se forma una fosa profunda por socavación, producida por un sistema de vórtices generados por la interferencia que la pila causa al flujo. El mecanismo que produce la socavación está asociado a la separación tridimensional del flujo en la cara aguas arriba de la pila y a un vórtice periódico al pie de ella, en la Figura 1 podemos apreciar el comportamiento del flujo en una pila cilíndrica (Dargahi, 1990).

Figura 1. Comportamiento del flujo en una pila cilíndrica (Ettema *et al.*, 2011).



Existen una gran cantidad de métodos para el cálculo de la socavación local alrededor de pilas. La mayoría de las ecuaciones son aplicables para cauces aluviales y no consideran

la posibilidad de que materiales más gruesos presentes en el lecho acoracen el hueco de socavación, lo que limitaría su profundidad. Los métodos más conocidos desarrollados para calcular la socavación local en pilas son: Laursen y Toch (1956), su adaptación de Neill (1964); al método de Larras (1963); Arunachalam (1967); Carsten (1966); Maza y Sánchez (1968); Yaraoslavtziev (1969); Breusers, Nicollet y Shen (1977); Melville y Sutherland (1988); Froehlich (1991) y el Método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU), (1995). Los estudios de investigación más recientes son los de Ettema *et al.* (1998), Sheppard y Miller (2006). A la fecha no existe ninguna solución rigurosa ni exacta, la mayor parte de los métodos que se emplean en la actualidad están basados en datos de laboratorio, los cuales exhiben importantes limitaciones, tales como rangos restringidos de los parámetros, efectos de escala y hasta inadecuados ajustes de las ecuaciones matemáticas para describir las tendencias observadas (Farias *et al.*, 2009).

En la presente investigación, se plantea el problema de la socavación local en las pilas de los puentes, se analizan algunos métodos de amplia difusión a nivel mundial, puntualizándose algunas deficiencias importantes de los mismos y se proponen nuevas líneas a investigar para mejorar el cálculo de la socavación local. Los beneficiarios con esta investigación serán los usuarios de las carreteras, los interesados en este tema tanto de las universidades como las dependencias de gobierno involucradas en la construcción y conservación de carreteras.

Metodología

Existen diversos métodos para el cálculo de la socavación local en pilas, la mayor parte están basados en datos de laboratorio con una serie de limitaciones, las que no representan las condiciones reales del fenómeno, permitiendo únicamente realizar solo la estimación de la socavación. A pesar de que existen investigaciones con diferentes enfoques de la ingeniería, los puentes siguen colapsándose, debido a que este es un fenómeno muy complejo de estudiar.

Para evaluar estas metodologías se estudiaron once métodos dedicados al cálculo de socavación local en pilas con el fin de detectar sus fortalezas, pero al mismo tiempo detectar qué les falta para que se conviertan en métodos más confiables. El análisis fue a través de una revisión bibliográfica.

1. Método Laursen y Toch
2. Método de Larras
3. Método de Carsten
4. Método de Arunachalam
5. Método de Maza-Sánchez (UNAM)
6. Método de Yaroslavtziev
7. Método de Breusers, Nicollet y Shen
8. Método de Melville y Sutherland
9. Método de Froehlich
10. Método de la Universidad Estatal de Colorado (FHW)
11. Método de Sheppard y Miller

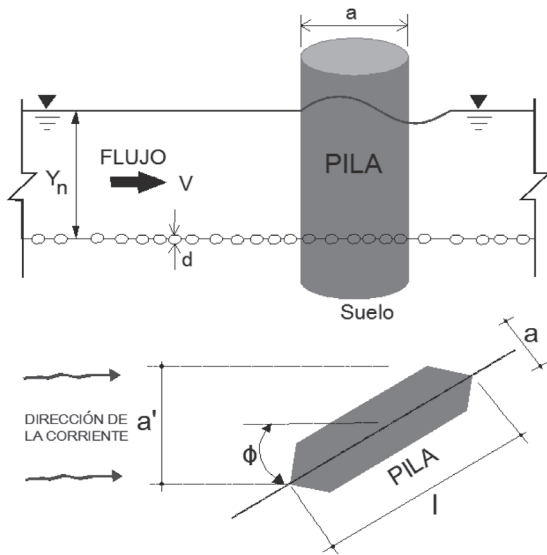
Se analizaron los principales parámetros que intervienen en el proceso de erosión de las pilas (ver Figura 2):

Los geométricos: ancho de la pila (a), forma de la pila y ángulo de ataque de la corriente (ϕ); *los hidráulicos:* la velocidad de la corriente aguas arriba de la pila (V), el tirante hidráulico frente a la pila (Y_n) y peso específico del agua (γ_w); y *los geotécnicos:* diámetro de partículas de suelo (d) y el peso específico del suelo (γ_s).

Hay un gran número de métodos y ecuaciones en la literatura para la estimación de socavación local en las pilas de los puentes. La mayoría, si no todas, de estas ecuaciones son empíricas y se obtienen a partir de los datos de laboratorio de experimentos con flujo estacionario. Debido a la complejidad del flujo y del transporte de sedimentos asociados con los procesos de la socavación local, hay una serie de grupos dimensionales necesarios para caracterizar completamente la socavación. Muchos de estos grupos, tales como la relación de la profundidad del agua con el diámetro de la estructura, pueden mantenerse constantes entre el modelo del laboratorio y la estructura

del prototipo, la mayoría de los experimentos de laboratorio se llevan a cabo con los sedimentos próximos a escala prototipo (Jones y Sheppard, 2008).

Figura 2. Principales parámetros que intervienen en el proceso de socavación de pilas.



ángulo de ataque del flujo y a es el ancho de la pila (en metros). Para fondos de sedimentos sueltos más finos, el método debería utilizarse con reservas, siendo inaplicable para sedimentos muy finos de gran cohesión. No considera la velocidad media de la corriente, para este método, dicha velocidad es inexistente, ya que si varía la velocidad se mantiene el equilibrio entre suministro y capacidad de extracción de los sedimentos. El método no toma en cuenta ningún parámetro geotécnico del material del fondo, únicamente los parámetros de la geometría de la pila, tirante del flujo y el ángulo de incidencia de la corriente (Laursen y Toch, 1956).

Método de Larras (1963).

El método propone una ecuación teórico-práctica deducida de mediciones de socavación tomadas en varios puentes franceses después de haberse producido la creciente. Larras se concentró en la máxima profundidad de socavación para condiciones próximas a velocidad crítica del movimiento de sedimentos (Juárez y Rico, 1984).

$$d_s = 1.05K_f K_\phi a^{0.75} \quad (2)$$

Método de Laursen y Toch (1956).

Este método fue desarrollado en el Instituto de Investigación Hidráulica de Iowa, fue confirmado con algunas mediciones en el río Skunk realizadas por Hubbard y Laursen en 1955. Se desarrolló bajo condiciones de transporte continuo de sedimentos. El método es aplicable para suelos arenosos, no está claro si se puede aplicar para gravas, pero definitivamente no es válido para el caso de boleas, la ecuación general del método es:

$$d_s = K_f K_g K_\phi a \quad (1)$$

En donde d_s es la profundidad de socavación local medida a partir del fondo del cauce (en metros), K_f es el coeficiente que depende de la forma de la pila, K_g es el coeficiente que depende de la relación H_s/a , H_s es el tirante del agua después de la socavación por contracción (en metros), K_ϕ es el coeficiente que depende del

La fórmula de Larras permite un cálculo rápido, sencillo y con resultados conservadores, es de uso práctico al considerar solo las características geométricas de la pila, no considera ningún parámetro geotécnico del material del fondo. El máximo absoluto de la profundidad de socavación es distinto al del equilibrio. Es uno de los pocos autores que realiza estudios con variadas formas de las pilas. Aplicable solo en el caso general de alturas de agua superiores a 30 o 40 veces del diámetro del sedimento y de secciones con menos del 10% de contracción (Juárez y Rico, 1984).

Método de Arunachalam (1967).

Arunachalam realizó una modificación de la ecuación de Englis-Poona (1948) y propuso la siguiente expresión (Breusers, Nicollet y Shen, 1977):

$$d_s = 1.334q^{2/3} \left[1.95 \left(\frac{1.334q^{2/3}}{a} \right)^{-1/6} - 1 \right] \quad (3)$$

Donde q es el caudal unitario aguas arriba del puente ($m^3/s\cdot m$). El método solo toma en cuenta el ancho de la pila y el caudal unitario de la corriente, no considera el tirante hidráulico ni el ángulo de aplicación de la corriente. El método no especifica el rango de aplicación en cuanto al tipo de régimen de la corriente, ni las características geotécnicas del material de fondo para el que fue desarrollado.

Método de Carsten (1966).

Carsten encontró la siguiente expresión para condiciones de socavación en lecho móvil (Shen y Schneider, 1969):

$$d_s = 0.546a \left(\frac{N_s - 1.25}{N_s - 5.02} \right)^{5/6} \quad (4)$$

$$N_s = \frac{V}{\sqrt{\Delta g D}} \quad (5)$$

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \quad (6)$$

Donde N_s es el número del sedimento, Δ es la densidad relativa cuyo valor común para cuarzos es de 1.65, D es el tamaño del sedimento y g es la aceleración de la gravedad. La ecuación se puede usar en cualquier sistema de unidades compatibles y es de las pocas que involucra el efecto del tamaño del sedimento y su peso específico, no especifica para qué tipos de materiales es aplicable el método, pero sí especifica que es aplicable solo para pilas circulares, no considera la existencia de una profundidad de equilibrio en ausencia de aporte de sedimentos. La ecuación es aplicable para socavación en agua clara y en lecho móvil.

Método de Maza-Sánchez (UNAM, 1968).

Es un método aplicable para lechos cubiertos por arena y grava. Para su aplicación el método se basa en el uso de curvas elaboradas a partir de resultados experimentales de laboratorio en investigaciones realizadas en la División de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México. Las curvas se derivaron con materiales de diámetro entre 0.17 mm y 0.56 mm. Es recomendable que el método sea aplicable solo para suelos con diámetros dentro de este rango. Los parámetros que intervienen en el método son: profundidad del flujo, ancho de la pila, número de Froude y el ángulo de ataque del flujo sobre la estructura (Maza y Sánchez, 1968; Juárez y Rico, 1984).

El número de Froude (F_r) está dado por la siguiente ecuación:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gH_s}} \quad (7)$$

Método de Yaroslavtziev (1969).

El criterio de Yaroslavtziev es el resultado de las mediciones realizadas en la anterior Unión Soviética, este investigador considera dos casos, uno cuando el fondo del río está formado por materiales no cohesivos, y otro cuando está formado por materiales cohesivos. Los parámetros que utiliza el método son la velocidad media de la corriente aguas arriba de la pila (V), la profundidad de la corriente (Y_n), el ángulo de incidencia de la corriente (ϕ), la geometría de la pila, el tipo de suelo y el diámetro de los granos del sedimento, este investigador fue de los primeros en tomar en cuenta parámetros geotécnicos en el fenómeno de socavación, ya que la mayoría de los investigadores de su época, solo consideraban los parámetros hidráulicos y geométricos de las pilas (Juárez y Rico, 1984).

La ecuación para suelos sin cohesión es:

$$d_s = k_f k_\theta (e + k_h) \frac{V^2}{g} - 30d_{85} \quad (8)$$

Donde e es un coeficiente de corrección, cuyo valor depende del sitio donde se coloca la pila, K_h considera la profundidad de la corriente aguas arriba luego de la socavación general, d_{85} es el diámetro característico que indica que el 85% del peso del material del cauce en estudio, lo constituyen partículas de diámetro menores a él, obtenido a partir de la curva granulométrica del material.

Cuando el material de fondo tiene un diámetro inferior a 0.5 cm, Yaroslavtziev recomienda suprimir el segundo término de la fórmula. Si dos estratos adyacentes tuviesen granulometrías muy diferentes, se debe tomar el de mayor d_{85} de ambas granulometrías, ya que al ser afectados conjuntamente por la socavación, los sedimentos se mezclarán.

Para el caso de suelos cohesivos, el método utiliza la misma ecuación que para los suelos granulares, con la salvedad de que en lugar del diámetro d_{85} utiliza un diámetro equivalente d_{e85} , que en un material granular producirá la misma socavación (Juárez y Rico, 1984).

Yaroslavtziev advierte que su fórmula para suelos granulares puede conducir a errores cuando:

Y_n/a sea menor de 2 y la pila esté desviada respecto a la corriente, y

Y_n/a sea menor de 1.5 y esté o no desviada, según Maza (1968).

En suelos cohesivos es muy probable que durante el tiempo que dura una avenida no se llegue a alcanzar la profundidad total de socavación obtenida mediante este cálculo, puesto que la degradación del fondo en un suelo cohesivo es más lenta que en un suelo arenoso. Yaroslavtziev y Cartens (1966), fueron de los primeros investigadores que analizaron la importancia del diámetro del sedimento del fondo del cauce.

Método de Breusers, Nicollet y Shen (1977).

El método de Breusers, Nicollet y Shen fue desarrollado en la década de los setenta (Breusers, 1984).

$$d_s = af_1\left(\frac{V}{V_c}\right)f_2\left(\frac{h}{a}\right)f_3(forma)f_4\left(K_\phi \frac{l}{a}\right) \quad (9)$$

De la ecuación V_c es la velocidad crítica para inicio del movimiento de partículas de fondo, h es la profundidad del agua, l es la longitud de la pila, f_1 es un parámetro que depende de la relación entre la velocidad media del flujo y la velocidad crítica para inicio del movimiento de partículas de fondo, f_2 , es un parámetro que depende de la relación entre el tirante del flujo y el ancho de la pila, f_3 es un parámetro que depende de la forma de la pila y f_4 es un parámetro en función del ángulo de ataque del flujo y la relación entre la longitud de la pila y el ancho de la pila.

El método no considera ningún parámetro geotécnico del material de fondo, por lo que no especifica si es aplicable a cualquier tipo de material. En el método únicamente intervienen los parámetros hidráulicos y geométricos de las pilas.

Método de Melville y Sutherland (1988).

El método fue desarrollado en la Universidad de Auckland (Nueva Zelanda) y está basado en curvas envolventes de datos experimentales, obtenidos en su mayoría de ensayos de laboratorio. Según Ettema (1990), el método propuesto por Melville para estimar profundidades de socavación de equilibrio en pilas, es mejor que otros métodos recomendados en algunas guías para diseño de los Estados Unidos, ya que ilustra sobre la sensibilidad de la socavación ante parámetros como caudal, sedimentos del lecho y condiciones de la pila.

Sin embargo, Ettema (1990), también argumenta, que por tratar de considerar los efectos más significativos sin un reconocimiento adecuado de las incertidumbres sobre las condiciones bajo las cuales la socavación se presenta, el método puede llegar a ser en algunos casos muy preciso. El método adolece de problemas relacionados con el uso conjunto de los factores de corrección por ángulo de

ataque y por la forma de la pila, por la manera como se considera el efecto de la velocidad del flujo y del tamaño de los sedimentos. Ettema (1990) se inclina por usar la expresión simplificada $d_s = 2.4a$.

La estimación de la profundidad de socavación según Melville (1988), está basada en la socavación máxima que es posible obtener en una pila cilíndrica, la cual es $2.4a$. De acuerdo con el método, esta profundidad máxima se reduce afectándola por ciertos factores que consideran condiciones de agua clara, posibilidad de acorazamiento, profundidades pequeñas del agua, tamaño del sedimento, forma y alineamiento de la pila.

$$d_s = aK_i K_h K_D K_\sigma K_f K_\phi \quad (10)$$

De la cual K_i es un factor de corrección por intensidad del flujo, K_D es el factor de corrección por tamaño del sedimento, K_σ es un factor de corrección por gradación del sedimento.

Método de Froehlich (1991).

Una ecuación desarrollada por el Dr. David Froehlich, la cual es usada por el programa HEC-RAS (1998) como una alternativa a la ecuación de la Universidad Estatal de Colorado:

$$d_s = 0.32K_f (a')^{0.62} h^{0.47} Fr^{0.22} D_{50}^{-0.09} + a \quad (11)$$

Donde a' es el ancho proyectado de la pila con relación al ángulo de ataque del flujo, a es adicionado como un factor de seguridad y D_{50} es el diámetro de la partícula de lecho en una mezcla cuyo 50% es menor, obtenido de la curva granulométrica del material (HEC-18, 2001).

Para pilas con punta circular alineadas con el flujo se tiene:

$$d_s \leq 2.4a \text{ para } Fr \leq 0.8$$

$$d_s \leq 3.0a \text{ para } Fr > 0.8$$

Si la profundidad de socavación se analiza para un caso particular, Froehlich sugiere que no se adicione el factor de seguridad a al final de la ecuación. El programa HEC-RAS (1998) siempre adiciona este factor de corrección (HEC-18, 2001).

Método de la Universidad Estatal de Colorado (FHWA, 1995)

Este método fue presentado como norma de diseño por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA), es una ecuación desarrollada por la Universidad Estatal de Colorado (CSU) para el cálculo de la socavación local en pilas, tanto en agua clara como en lecho móvil. Esta ecuación fue desarrollada con base en análisis dimensional de los parámetros que afectan la socavación y análisis de datos de laboratorio. Es el método más usado en los Estados Unidos de América (HEC-18, 2001) y es uno de los dos que usa el programa HEC-RAS (1998).

$$\frac{d_s}{h} = 2.0K_f K_\phi K_c K_a \left(\frac{a}{h}\right)^{0.65} Fr^{0.43} \quad (12)$$

Para pilas con punta circular alineadas con el flujo aplica la misma regla que en el método de Froehlich.

En donde K_c es un factor de corrección por la forma del lecho, usualmente igual a 1.1, K_a es un factor de corrección por acorazamiento del sedimento del lecho. Este factor fue introducido en la versión corregida de HEC-18 (1993) publicada en 1995.

La FHWA estableció limitaciones para la aplicación del coeficiente por acorazamiento, este coeficiente se aplica solo cuando $d_{50} > 60$ mm, valor mínimo de $K_a = 0.7$. La experiencia ha demostrado que para pilas muy anchas el método da valores muy superiores a los reales. Igual situación ocurre cuando se calcula la socavación para cimientos anchos. Sin embargo, este método es el más utilizado especialmente, por su carácter de norma

obligatoria en los Estados Unidos. Este método se basa en una curva envolvente de eventos de máxima socavación, lo que conlleva a que los resultados obtenidos sean conservadores. El valor de b que se utiliza en la fórmula, debe ser el valor del ancho del pilar cerca al fondo del cauce después de tomar en cuenta tanto la degradación a largo plazo como la socavación por contracción del cauce (HEC-18, 2001).

Es uno de los pocos métodos, que junto con el de Nueva Zelanda, analiza la importancia del acorazamiento en la socavación en torno a los pilares. Para este autor el acorazamiento y engrosamiento de las capas superficiales tiende a reducir la socavación.

Método de Sheppard y Miller (2006).

El conjunto de ecuaciones de Sheppard y Miller (2006) está basado en la consideración de varias investigaciones previas, consolidando resultados obtenidos a través de varios años de experimentos llevados en la FHWA, algunos aspectos de la escuela europea de erosión local, fundamentalmente holandesa, a partir de las investigaciones de experimentos propios, así como mediciones de campo. Las ecuaciones incluyen la importante observación sobre la dependencia normalizada de la profundidad de socavación local de a/D_{50} en incrementos hasta que el valor de a/D_{50} sea igual a 40, en el que el punto de dependencia comienza a disminuir (Farias *et al.*, 2009 y NCHRP, Report No. 682, 2011).

Las ecuaciones propuestas por Sheppard y Miller (2006) para la estimación de la socavación local en pilas simples, se diferencian según sea la condición del flujo de aproximación en cuanto al transporte de sedimentos.

Para socavación en agua clara ($0.47 < V/V_c < 1.0$), la fórmula para d_s se expresa en función del producto de tres funciones principales:

$$\frac{d_s}{a} = 2.5 f_1\left(\frac{h}{a}\right) f_2\left(\frac{V}{V_c}\right) f_3\left(\frac{a}{D_{50}}\right) \quad (13)$$

Para socavación en lecho vivo hasta alcanzar el pico de lecho vivo ($1 < V/V_c < V_{lp}/V_c$):

$$\frac{d_s}{a} = f_1\left(\frac{h}{a}\right) \left[2.2 \left(\frac{V}{V_c} - 1\right) + 2.5 \left(\frac{V_{lp} - V}{V_c - V_c}\right) f_3\left(\frac{a}{D_{50}}\right) \right] \quad (14)$$

Y para socavación en el lecho vivo con rango por encima del pico de lecho vivo ($V/V_c > V_{lp}/V_c$):

$$\frac{d_s}{a} = 2.2 f_1\left(\frac{h}{a}\right) \quad (15)$$

En donde V_{lp} es la velocidad límite de erosión en lecho viva ($0.5V_c$) y las funciones f_1 , f_2 , y f_3 se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$f_1\left(\frac{h}{a}\right) = \tanh\left[\left(\frac{h}{a}\right)^{0.4}\right] \quad (16)$$

$$f_2 = \left(\frac{V}{V_c}\right) = 1 - 1.2 \left[\ln\left(\frac{V}{V_c}\right)\right]^2 \quad (17)$$

$$f_3\left(\frac{a}{D_{50}}\right) = \left[\frac{\frac{a}{D_{50}}}{0.4 \left(\frac{a}{D_{50}}\right)^{1.2} + 10.6 \left(\frac{a}{D_{50}}\right)^{-0.13}} \right] \quad (18)$$

Discusión

La evaluación de cada uno de los métodos descritos en el apartado anterior se puntualiza en el Cuadro 1, en el cual se muestra una descripción detallada de las condiciones, ventajas y desventajas que aportan estos métodos.

Cuadro 1. Análisis de los métodos para el cálculo de socavación local en pilas.

Autor	Condiciones	Ventajas y desventajas
Laursen y Toch	Para condiciones de flujo subcrítico, para números de Froude muy pequeños (< 0.5). Válido únicamente para el caso de erosión local con arrastre generalizado de sedimento. Solo para arenas, no está claro si se puede aplicar para gravas, inaplicable para sedimentos muy finos, de gran cohesión.	Es uno de los primeros métodos que considera la influencia de la geometría de la sección y su orientación con respecto al flujo. Además considera otras formas de pilas además de la circular, como la rectangular, semicircular, elíptica y lenticular. No considera ningún parámetro geotécnico del material del cauce.
Método de Larras	El máximo absoluto de la profundidad de socavación es distinto al del equilibrio. Es independiente del tirante y del diámetro del sedimento. Solución excesivamente simple del problema, la profundidad de socavación solo está en función de las características de la pila (resultados conservadores). Aplicable solo en el caso general de alturas de agua superiores a 30 o 40 veces del diámetro del sedimento y de secciones con menos del 10% de contracción.	Es de uso práctico, permite un cálculo rápido y sencillo con resultados conservadores. Al considerar solo las características de la pila, es uno de los pocos autores que realiza estudios con variadas formas de pilas.
Método de Arunachalam	El método no considera el tirante ni el ángulo de aplicación de la corriente. No especifica el rango de aplicación en cuanto al tipo de régimen de la corriente ni las características geotécnicas del material de fondo para el que fue desarrollado el método.	Muy simple de aplicar. El método solo toma en cuenta el ancho de la pila y el caudal unitario de la corriente.
Método de Carsten	Solo para pilas circulares, por lo que no considera ángulo de incidencia de la corriente. No considera la existencia de una profundidad de equilibrio en ausencia de aporte de sedimentos.	Introduce el diámetro del sedimento como variable. Considera dos condiciones: cuando existe aporte de sedimentos a la fosa de socavación y cuando no hay aporte de sedimentos.
Método de Maza-Sánchez (UNAM)	Para números de Froude menores de 0.6. No toma en consideración el diámetro del sedimento, ni ningún parámetro geotécnico. Es aplicable solo para arenas y gravas, resultando valores mayores que los obtenidos experimentalmente.	La socavación es obtenida a partir de estas curvas para partículas con diámetro medio entre 0.17 mm y 0.56 mm, no es aplicable para diámetros fuera del rango.
Método de Yaroslavtziev	A pesar de que propone dos ecuaciones distintas, uno para materiales no cohesivos y otro para materiales cohesivos, en suelos cohesivos es muy probable que no se llegue a alcanzar la profundidad total de socavación obtenida mediante este cálculo, debido a que un suelo cohesivo se demora más en erosionar que un suelo arenoso (muy conservador). Niega la existencia de la profundidad de equilibrio de socavación sugerida por Laursen y Toch. Posibilidad de errores cuando $Yn/a < 2$ y la pila desviada respecto a la corriente, y cuando la relación $Yn/a < 1.5$.	Es uno de los primeros autores que consideró las diferencias entre un suelo cohesivo y otro no cohesivo, realizando dos fórmulas distintas para cada caso. Considera el diámetro d_{85} de los granos del sedimento.
Método de Breusers, Nicollet y Shen	El método no considera ningún parámetro geotécnico del material de fondo, por lo que no especifica si es aplicable a cualquier tipo de material. En el método únicamente intervienen los parámetros hidráulicos y geométricos de las pilas.	Es de uso práctico, permite un cálculo rápido y sencillo.
Método de Melville y Sutherland	No se sabe bajo qué condiciones y supuestos han sido deducidas estas fórmulas, se desconoce el rango de validez de estas ecuaciones.	Menville es uno de los pocos autores que analizan la importancia del acorazamiento en la socavación en torno a las pilas. Para este autor el acorazamiento tiende a reducir la socavación. Considera el diámetro de los sedimentos del material del cauce.
Método de Froehlich	Para pilas con punta circular alineadas con el flujo se tiene: $ds \leq 2.4a$ para $Fr \leq 0.8$ $ds \leq 3.0a$ para $Fr > 0.8$	El método es usado por el programa HEC-RAS (1998) como una alternativa a la ecuación de la Universidad Estatal de Colorado. Considera el diámetro de las partículas de los sedimentos del material del cauce, combinando las propiedades hidráulicas y geométricas de las pilas.
Método de la Universidad Estatal de Colorado (FHWA)	La ecuación general tiene los siguientes límites: $ds \leq 2.4a$ para $Fr \leq 0.8$ $ds \leq 3.0a$ para $Fr > 0.8$ El coeficiente K_a toma en cuenta el acorazamiento, pero se aplica solo cuando $d_{50} > 60$ mm. Además, para su cálculo se requieren velocidades difíciles de determinar en campo. Para pilas muy anchos la fórmula del FHWA da valores muy superiores a los reales.	Introduce un nuevo factor, en donde considera la rugosidad general del cauce. Considera el acorazamiento introduciendo el diámetro d del material del cauce. Es el método más usado en los Estados Unidos (HEC-18, 1993), fue presentado como norma de diseño por Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA) y es uno de los dos métodos que usa el programa HEC-RAS (1998).
Método de Sheppard y Miller	Las ecuaciones incluyen la importante observación sobre la dependencia normalizada de la profundidad de socavación local de a/D_{50} en incrementos hasta que el valor de a/D_{50} sea igual a 40, en el que el punto de dependencia comienza a disminuir.	Este método es el más reciente. Considera los tres grupos de variables que son: geométricos, hidráulicos y geotécnicos. Es una metodología complicada de aplicar.

Como podemos apreciar en el Cuadro 1, cada uno de los autores presenta una serie de simplificaciones, limitantes de aplicación y formas de abordar el problema de la socavación, cada método fue desarrollado en condiciones diferentes debido a la complejidad del fenómeno, por este motivo, se dificulta el proceso de comparación de un método con otro. Además, los resultados de cada método difieren uno de otro en gran magnitud, lo que dificulta la homogeneidad de criterios para ser aplicados en el campo. Es por esto, que en este análisis no se pretende realizar una comparación cuantitativa de los métodos, sino enfatizar cuáles son sus bondades, deficiencias y centrarse paulatinamente en el método de interés para cada caso en particular. Por este motivo, al utilizar cualquier relación de cálculo es necesario previamente saber bajo qué condiciones y supuestos ha sido deducido, para así aplicarlo dentro de su respectivo rango de validez. Sin embargo, muchas veces no está claro cómo determinar la relación a utilizar, cuál es su rango de validez, bajo qué condiciones físicas es posible utilizarla o cuál es el significado de cada una de las variables presentes en ella. Debido a esto, los diversos tipos de fórmulas y relaciones dadas representan, en muchas ocasiones, una gran dificultad de interpretación para su aplicación, desde el punto de vista de la ingeniería civil.

El Cuadro 2, presenta un resumen de los parámetros utilizados por los métodos evaluados.

Cuadro 2. Parámetros utilizados en los métodos de socavación local de pilas.

Autores	Parámetros utilizados							
	Hidráulicos			Geométricos			Geotécnicos	
	V	Y_n	γ_w	a	Forma	ϕ	d	γ_s
Método de Larsen y Toch								
Método de Laras								
Método de Arunachalam								
Método de Carsten								
Método de Maza-Sánchez								
Método de Yaroslavtziev								
Método de Breusers, Nicollet y Shen								
Método de Melville y Sutherland								
Método de Froehlich								
Método de la Universidad Estatal de Colorado								
Método de Sheppard y Miller								

En el Cuadro 2 se puede apreciar claramente que los parámetros más utilizados en los métodos evaluados son: los geométricos, posteriormente los hidráulicos y los menos utilizados son los parámetros geotécnicos del material del fondo. La mayoría de los autores coinciden en que las variables que influyen en el fenómeno de socavación local de las pilas de los puentes son, en orden de importancia:

- a) dimensiones transversales de la pila.
- b) velocidad de la corriente y tirante.
- c) granulometría del material del fondo.

Los parámetros hidráulicos que más se utilizan son: la velocidad de la corriente aguas arriba del pilar (V) y el tirante frente al pilar (Y_n), los cuales representan en su mayoría las situaciones hidráulicas. Sin embargo, los parámetros geotécnicos de mayor importancia son, el diámetro representativo del sedimento (d) y el peso específico del sedimento (γ_s), que si bien es cierto son propiedades importantes del suelo, no son suficientes para representar el comportamiento del mismo.

No se puede decir que (d) represente al suelo, porque es demasiado genérico. En el cauce se pueden encontrar distintos tipos de materiales (cohesivos como arcillas, no cohesivos como gravas o arenas), con sus respectivas propiedades de acuerdo a su estructura y, (d) no es un parámetro adecuado para representarlos. Por esta razón, se puede decir que las fórmulas de estos métodos no representan la estructura del tipo de suelo que se encuentra en el fondo del cauce.

Solo uno de todos los métodos mencionados, Yaroslavtziev, considera las diferencias entre un suelo cohesivo y otro no cohesivo, realizando dos fórmulas distintas para cada caso. Sin embargo, Yaroslavtziev hace hincapié que para suelos cohesivos es muy probable que durante el tiempo que dura una avenida no se llegue a alcanzar la profundidad total de socavación obtenida mediante este cálculo, debido a que un suelo cohesivo se demora más en erosionar que un suelo arenoso (Juárez y Rico, 1984).

Los métodos no consideran la estratigrafía del suelo, es decir, no toman en cuenta los diferentes estratos que pueden existir bajo el fondo del cauce de un río. Generalmente, se considera como si solo existiera un manto de la misma granulometría y resistencia. Por esto, en ocasiones cuando se tiene un estrato de material no cohesivo (arenas) y este es seguido por un estrato de material cohesivo (generalmente arcillas) no se considera el primero, debido a que ofrece poca resistencia a la erosión. Por lo tanto, en el estudio de la erosión máxima, se calcula como si en la superficie se encontrara el estrato cohesivo, como si fuera todo un manto de las mismas características y propiedades, obteniéndose resultados conservadores.

Conclusiones

El cálculo de la socavación local en pilas de puentes, es de significativa importancia debido a que la mayoría de las fallas de puentes en el mundo es debido a la socavación local. El colapso de estas estructuras no solo implica pérdidas económicas, sino también vidas humanas.

Para el cálculo de la socavación local en pilas, a la fecha no existe ninguna solución robusta, la mayor parte de los métodos que se emplean, están basados en datos de laboratorio, con una serie de limitaciones, tales como rangos restringidos de aplicaciones y suposiciones. Al aplicar los métodos, los resultados obtenidos difieren uno de otro en gran magnitud, lo que dificulta su interpretación. Al utilizar cualquier metodología de cálculo es necesario previamente saber bajo qué condiciones y supuestos ha sido deducida, para así aplicarla dentro de su respectivo rango de validez. Sin embargo, muchas veces no está claro cuál es su rango de validez y bajo qué condiciones físicas es posible utilizarlo.

En la comparación de los parámetros evaluados para cada autor podemos concluir que los parámetros más utilizados son los geométricos, seguido de los hidráulicos y los menos utilizados son los geotécnicos. Los parámetros hidráulicos que más se utilizan, representan en su mayoría las situaciones

hidráulicas. Sin embargo, los únicos parámetros geotécnicos que se utilizan son el diámetro representativo del sedimento d y el peso específico del sedimento, los cuales no son suficientes para representar el comportamiento del material del cauce. En el cauce se pueden encontrar distintos tipos de materiales, ya sean cohesivos, como arcillas; y no cohesivos, como gravas o arenas, con sus respectivas propiedades, de acuerdo con su estructura, el parámetro d no es suficiente para caracterizar a todos los tipos de suelo que se pueden encontrar en el fondo del cauce. Por lo tanto, este es un campo en el que se pueden desarrollar nuevos trabajos de investigación.

El principal problema de los métodos disponibles se deriva de que sus autores han centrado principalmente su atención en torno a un estudio principalmente hidráulico. La predicción de la erosión requiere una integración de los conocimientos de varias ramas de la ingeniería como son geológicas, geotécnicas, hidráulicas e hidrológicas.


La socavación local en las pilas de los puentes no debe limitarse únicamente a la determinación de la magnitud de la socavación, una de las causas principales que originan el colapso de los puentes es la falta de medidas preventivas contra la socavación. Tales acciones pueden ser la colocación de pantallas o cilindros de diámetros pequeños para disipar la energía o pedraplenes que sustituyan el material de fondo, con diámetros de sus elementos lo suficientemente grandes para que no sean levantados y arrastrados por la corriente. En la actualidad existen sistemas comerciales utilizados para disipar la energía, tal es el caso del sistema A-Jacks, empleado para estabilizar márgenes, protección de socavación y disipación de energía. Es primordial que existan programas de monitoreo para tomar medidas preventivas y así evitar que la socavación local provoque la falla del puente. La decisión final sobre la cimentación de la estructura de un puente no solo debe basarse en los resultados que arrojen las ecuaciones, sino también en el criterio del ingeniero proyectista que debe tomar en cuenta todos los factores que involucran el problema a solucionar.

Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua y al CONACYT por su valioso apoyo para la elaboración de esta investigación.

Literatura citada

- Antunes Do Carmo, J.S. 2005. Experimental Study on Local Scour around Bridge Piers in Rivers, River Basin Management III, WIT *Transaction on Ecology and the Environment*, Vol. 83, WIT Press.
- Breusers, H. N. C., G. Nicollet and H.W. Shen. 1977. Local Scour around Cylindrical Piers. *Journal of Hydraulic Research*, 15(3), pp. 211-252.
- Breusers, H. N. C. 1984. Lectures Notes on Sediment Transport 1. International Course in Hydraulic Engineering. Delft. The Netherlands.
- Dargahi, B. 1990. Controlling Mechanism of Local Scour. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 116(10), pp. 1197-1213.
- Dey, S., K. Bose Sujit and L.N. Sastry. 1995. Clear water scour at circular piers: A model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(12), 869-876.
- Ettema, R. 1990. Discussion Design Method for Local Scour at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 116(10), October, pp. 1290-1293.
- Ettema, R., E.A. Mostafa, B.W. Melville, and A.A. Yassin. 1998. On local scour at skewed piers, *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 124(7), pp.756-760.
- Ettema, R., G. Constantinescu, and B. Melville. 2011. Report for NCHRP Project 24-27(01) National Cooperative Highway Research Program.
- Farias, H.D., M.T. Pilán, F.J. Pece y M.T. Mattar. 2009. Socavación local de pilas de puentes: Formulación general y análisis crítico de metodologías existentes. Instituto de Recursos Hídricos (IRHIFCEyT-UNSE), Av. Belgrano 1912, Santiago del Estero, Argentina.
- FHWA (Federal Highway Administration). 1998. US Department of Transport, Bridge Technology, Summary of scanning review of European practice for bridge scour and stream instability countermeasures.
- HEC-18. 2001. Evaluating Scour at Bridges. Richardson, Hydraulic Engineering Circular N° 18. U. S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Fourth Edition. Virginia. USA.
- Jones, J.S. and M.D. Sheppard. 2008. Scour at Wide Bridge Piers. *Research Hydraulics Engineer*. Federal Highway Administration, HRDI-07 and Civil and Coastal Engineering Department, University of Florida.
- Juárez, B. y R. Rico. 1984. Mecánica de Suelos, Tomo III. Flujo de Agua en Suelos. Editorial Limusa. México.
- Khairakpam, P. and A. Mazumdar. 2006. Local Scour Around Hydraulic Structures. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(6).
- Landers, M.N. and D.S. Mueller. 1996. Channel Scour at Bridges in the United States. Federal High Way Administration, Report Number FHWA/RD-95/18.
- Laursen, E.M. and A. Toch. 1956. Scour Around Bridge Piers and Abutments. Highway Research Board Bull. No. 4.
- Lefter, J. 1993. Instrumentation for Measuring Scour at Bridge Piers and Abutments, NCHRP Research Results Digest, Transportation Research Board, No. 189, 8 p.
- Maza, A.J.A. y B.J.L. Sánchez. 1968. Contribución al estudio de socavación local en pilas de puentes. Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- Melville, B.W. and A. J. Sutherland. 1988. Design Method for Local Scour at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 114(10), pp. 1210-1226.
- NCHRP, Report No. 682. 2011. *Transportation Research Board*.

- Raudkivi, A.J. 1986. Functional Trends of Scour at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 112(1), pp. 1-13.
- Richardson, E.V. 1999. History of bridge scour research and evaluations in the United States. Stream stability and scour at highway bridges. ASCE. PP. 15-40.
- Shen, H.W. and V. R. Schneider. 1969. Local Scour Around Bridge Piers. *Journal of Hydraulics Division ASCE*, 95(HY6), pp. 1919-1940.
- Sheppard, D.M. and W. Miller. 2006. Live-bed local pier scour experiments. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 132(7), 635-642.
- Smith, D.W. 1979. Institution of civil engineers Proceedings, Part. 1, Vol. 6 pp. 367-382.
- Solares, D.C. 1989. La Socavación en Puentes y Obras Menores. Reunión Conjunta sobre Socavación en Puentes y Obras Menores de la AMH, AMIVITAC y SMMS. México. 

Nomenclatura de variables

- a = ancho de la pila.
- ϕ = ángulo de ataque de la corriente.
- V = Velocidad media de la corriente aguas arriba de la pila.
- Y_n = Tirante hidráulico frente a la pila.
- γ_w = Peso específico del agua.
- D = Diámetro de partículas de suelo.
- γ_s = Peso específico del suelo.
- d_s = Profundidad de socavación local medida a partir del fondo del cauce.
- K_f = Coeficiente que depende de la forma de la pila.
- K_g = Coeficiente que depende de la relación.
- K_θ = Coeficiente que depende del ángulo de ataque del flujo.
- H_s = Tirante del agua después de la socavación por contracción.
- q = Caudal unitario aguas arriba del puente.
- N_s = Número del sedimento.
- Δ = Densidad relativa cuyo valor común para cuarzos es de 1.65.
- D = Tamaño del sedimento
- g = Es la aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).
- F_r = El número de Froude.
- e = Coeficiente de corrección, cuyo valor depende del sitio donde se coloca la pila.
- K_h = Coeficiente que considera la profundidad de la corriente.
- d_{85} = Diámetro característico que indica que el 85% del peso del material del cauce en estudio.
- V_c = Velocidad crítica para inicio del movimiento de partículas de fondo
- h = Profundidad del flujo frente a la pila.
- l = Longitud de la pila.
- f_1 = Parámetro que depende de la relación entre la velocidad media del flujo y la velocidad crítica para inicio del movimiento de partículas de fondo.
- f_2 = Parámetro que depende de la relación entre el tirante del flujo y el ancho de la pila.
- f_3 = Parámetro que depende de la forma de la pila.
- f_4 = Parámetro en función del ángulo de ataque del flujo y la relación entre la longitud de la pila y el ancho de la pila.
- K_f = Factor de corrección por intensidad del flujo.
- K_D = Factor de corrección por tamaño del sedimento.
- K_σ = Factor de corrección por gradación del sedimento.
- a' = Ancho proyectado de la pila con relación al ángulo de ataque del flujo.
- D_{50} = Diámetro de la partícula de lecho en una mezcla cuyo 50% es menor.
- K_c = Factor de corrección por la forma del lecho, usualmente igual a 1.1.
- K_a = Factor de corrección por acorazamiento del sedimento del lecho.
- V_{lp} = Velocidad límite de erosión en lecho viva.

Este artículo es citado así:

Campa-Rodriguez, A., F.R. Astorga-Bustillos. 2015. Métodos para el cálculo de la socavación local en pilas de puentes. *TECNOCENCIA Chihuahua* 9(1): 36-48.

Resumen curricular del autor y coautores

ANTONIO CAMPA RODRÍGUEZ. Obtuvo el título ingeniero civil en el año de 1993 en la Universidad Autónoma de Zacatecas, el grado de Maestro en Ingeniería con especialidad en Vías Terrestres en el año de 1997 en la Universidad Autónoma de Chihuahua, el grado de Maestro en Administración de la Construcción en el Instituto Tecnológico de la Construcción de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, en el año 2003. Es ingeniero residente de construcción en la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas del Estado de Chihuahua desde el año 1997 a la fecha. Estudiante del programa de Doctorado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua desde el año 2009.

FERNANDO RAFAEL ASTORGA BUSTILLOS. Terminó su licenciatura en 1987 como ingeniero civil en la Facultad Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Maestría en Ingeniería de las Vías terrestres en 1988 en la Facultad de Ingeniería de la UACH. Maestría en Ingeniería Ambiental en 2007 en la Universidad de Texas en El Paso. Doctorado en Ciencia de Materiales en 2010 por el Centro de Investigación de Materiales Avanzados (CIMAV). Desde 1988 labora en la Universidad Autónoma de Chihuahua, donde ha ocupado puestos administrativos: jefe del departamento de construcción y mantenimiento de la UACH de 1988 a 1992. Secretario administrativo de la Facultad de Ingeniería de la UACH de 1994 a 1998. Profesor-Investigador en la Facultad de Ingeniería desde 1988 a la fecha, con categoría ATC. Presidente de academias en la Facultad de Ingeniería de la UACH: Academia de Urbanismo, Academia de Doctorado y Academia de Ambiental. Consejero Técnico de la Facultad de Ingeniería y Consejero Universitario de la UACH. Ha sido conferencista en congresos Nacionales e Internacionales. Área de especialización Impacto Ambiental y Vías Terrestres. Consultor de Gobierno del estado de Chihuahua, donde ha publicado 10 planes de Desarrollo Urbano y 3 planes de Ordenamiento Territorial. Ha llevado a cabo 30 estudios de Manifiesto de Impacto Ambiental para construcción de fraccionamientos. Estudios de Cambio de Uso del Suelo para cuatro carreteras y tres presas. Supervisión ambiental para una carretera a cargo de la SCT en el estado de Jalisco. Publicación de 11 artículos en revistas arbitradas. Actualmente dirige cuatro alumnos de doctorado, diez alumnos de maestría y a tres alumnos de licenciatura. Evaluador de CACEI desde 1998. Perteneció al Colegio de Ingenieros Civiles de Chihuahua A.C. donde ha ocupado diversos puestos en las mesas directivas.

Árboles y arbustos templados de Chihuahua, México

Temperate trees and shrubs of Chihuahua, Mexico

TOUTCHA LEBGUE-KELENG^{1,3}, RICARDO SOTO-CRUZ¹, GUSTAVO QUINTANA-MARTÍNEZ¹, MIROSLAVA QUIÑONEZ-MARTÍNEZ², SALVADOR BALDERRAMA-CASTAÑEDA¹, ALICIA MELGOZA-CASTILLO¹, CARLOS MORALES-NIETO¹ y LEONOR CORTES-PALACIOS¹

Recibido: Marzo 23, 2015

Aceptado: Junio 14, 2015

Resumen

Los árboles y arbustos son componentes inherentes de cualquier comunidad vegetal, ya sea tropical, desértica, polar o templada. Su densa biomasa actúa como regulador de muchos factores físicos ambientales; también es fuente de alimentación y refugio para miles de organismos heterótrofos. Para el hombre, los bosques formados por los árboles representan valores económicos, sociales y culturales imprescindibles. El estado de Chihuahua cuenta con una gran diversidad de árboles y arbustos cubriendo áreas desérticas, templadas y tropicales. El objetivo de este estudio fue inventariar las especies de árboles y arbustos en las zonas templadas del estado de Chihuahua. El estudio fue realizado en todo el estado, en el cual se establecieron y recorrieron once sitios de observación durante los años 2012, 2013 y 2014. Cada sitio fue visitado por lo menos una vez para obtener los siguientes datos: especies de árboles y arbustos con características templadas, asociación vegetal del sitio, coordenadas geográficas (lat/long) y elevación (msnm). Al analizar dichos datos, se obtuvo un listado de árboles y arbustos compuesto por 27 familias, 57 géneros y 163 especies. Las familias con más especies fueron: Fagaceae (33 y 6 híbridos), Pinaceae (19 y 2 variedades), Rosaceae (10), Ericaceae (10) y Cupressaceae (8). De igual manera, se obtuvo un listado de 11 especies que están enlistadas en la NOM-059-SEMANART-2010 y 7 especies consideradas amenazadas, incluidas en la Lista Roja de UICN (Unión Internacional sobre la Conservación de la Naturaleza). Las comunidades vegetales del clima templado de Chihuahua son dominadas por dos grupos principales de plantas (encinos y pinos), cuya biomasa, en conjunto, ejerce una gran influencia sobre el ambiente físico, y modifica los efectos de los factores temperatura, agua y suelos para mantener las condiciones méxicas en las regiones templadas en el estado.

Palabras clave: bosque templado de Chihuahua, árboles y arbustos, pinos y encinos de Chihuahua, listado florístico.

Abstract

Trees and shrubs are inherent components of any plant community, either tropical, desert, polar or temperate. Its dense biomass acts as a regulator of many physical environmental factors as well as being a source of food and shelter for thousands of heterotrophic organisms. For man, the forests formed by trees represent essential economic, social and cultural values. The state of Chihuahua has a wide variety of trees and shrubs covering desert, temperate and tropical areas. The aim of this study was to inventory the species of trees and shrubs in the temperate areas of the state of Chihuahua. The study was conducted throughout the state, in which, eleven observation sites were established and toured in 2012, 2013 and 2014. Each site was visited at least once to obtain the following data: species of trees or shrubs with temperate characteristics, plant association, geographic coordinates (lat/long) and elevation (meters). After analyzing the data, a list of trees and shrubs comprising 27 families, 57 genera and 163 species was obtained. The dominating families were Fagaceae (33 species and 6 hybrids), Pinaceae (19 and 2 varieties), Rosaceae (10), Ericaceae (10) and Cupressaceae (8). Similarly, it was obtained a list of 11 species of the region that are listed in NOM-059-SEMANART 2010 and 7 species considered threatened, included in the Red List of IUCN (International Union for Conservation of Nature). The temperate plant communities of Chihuahua are dominated by two groups of plants (oaks and pines) whose biomass, overall, have a great influence on the physical environment and modify the effects of factors such as temperature, water and soil and thus maintaining the mesic conditions in the temperate region of the State.

Keywords: temperate forest of Chihuahua, trees and shrubs, pines and oaks of Chihuahua, floristic list.

¹ Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia y Ecología. Periférico Fco. R. Almada Km 1. Col. Zootecnia. Chihuahua, Chih., Mexico 31453. Tel. (614) 434-0303.

² Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ave. Plutarco Elías Calles Núm. 1210. Ciudad Juárez, Chih., Mexico 32310. Tel. (656) 688-2100.

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

Introducción

Históricamente, los humanos se han asentado en los bosques templados debido a que éstos les proveen de insumos valiosos para el desarrollo de sus actividades, tales como la leña para la cocción de alimentos y generación de calor, así como el uso de la madera como material de construcción, coincidiendo con González-Elizondo et al. (2012c) que afirman que "los bosques templados y fríos de la SMO representan un recurso forestal muy importante tanto en términos de extracción de madera como de producción de servicios ambientales". Dichas comunidades vegetales son formadas por asociaciones de árboles y arbustos cuya densa biomasa actúa como regulador de muchos factores físicos ambientales como la temperatura, luz y agua, propiciando condiciones adecuadas de hábitat para los otros seres vivos que no pueden prescindir de ellas.

Los bosques templados cubren 29% de la superficie estatal (Rzedowski, 1978; INEGI, 2004). Se encuentran en 40 de los 67 municipios: en Guadalupe y Calvo en el Suroeste, Ignacio Zaragoza en el Norte, en el municipio de Chihuahua al Este y Moris en el Oeste. Ocupan áreas con precipitaciones abundantes y uniformemente distribuidas a lo largo del año, temperaturas moderadas y un marcado patrón estacional, cuyas condiciones particulares de humedad y calor han generado gran diversidad de especies de flora y fauna (aunque algunas emigran o hibernan para protegerse de las bajas temperaturas de invierno).

Los bosques templados tienen una composición vegetal variada debido a la presencia de árboles caducifolios (hojas que se desprenden durante un periodo del año), árboles perennifolios aciculares (hojas persistentes en forma de aguja) –como pinos– y árboles perennifolios latifoliados (con hojas persistentes y anchas), entre ellos especies de encinos y madroños.

A nivel del suelo existe un estrato conformado por musgos, líquenes, hongos, helechos, hierbas y pastos que son importantes para retener la humedad y evitar la erosión, lo que permite el crecimiento y desarrollo de un sinnúmero de plantas medicinales y alimenticias aprovechadas por las comunidades rurales, tales como el té milagro, la chucaca, el gordolobo, los hongos, entre otras.

Aunque un poco obsoleto, no se puede hablar de los pinos sin mencionar el documento pionero – Los Pinos Mexicanos – de Maximino Martínez publicado en 1948; en dicho documento, se reportaron 14 especies de pinos para el estado de Chihuahua. Estudios florísticos realizados en el Parque Nacional Cascada de Basaseachi (Spellenberg *et al.* 1996), y en la Laguna de Babícora, (Estrada *et al.* 1997), reportaron 70 y 20 especies árboles y arbustos cada uno en su respectiva área. En la parte central del estado, Vega (2010) reportó 20 especies de estas plantas para la Sierra Azul, así como Estrada *et al.* (2003) reportaron 15 de ellas en Majalca. Otros estudios, aunque específicos, aportaron datos relevantes sobre algunas especies de árboles y arbustos encontradas en los bosques templados de Chihuahua (Sorensen, 1987; Gonzalez-Elizondo *et al.*, 1992, 2012a, 2012b; Spellenberg, 1990, 1992, 1995, 1996, 1998, 2014; Spellenberg *et al.*, 1998, 2014).

La distribución espacial de las comunidades de los bosques templados está determinada, en primer lugar, por el gradiente altitudinal, después por efectos climáticos (principalmente temperatura y precipitación) y por último por las condiciones del suelo. Sin embargo, actualmente se está detectando la presencia de comunidades fuera de los rangos establecidos como consecuencia de actividades antropogénicas (ganadería, silvicultura, agricultura, entre otras).

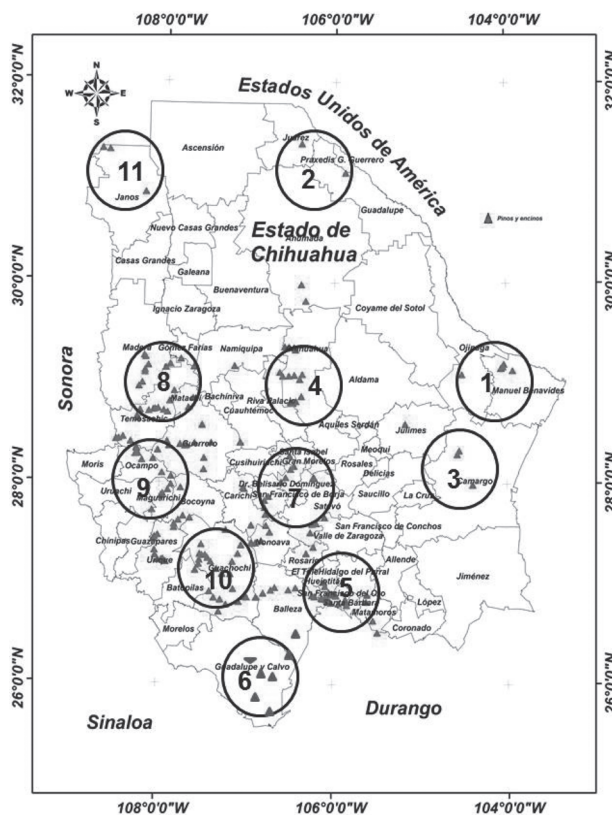
El gradiente altitudinal de la Sierra Madre Occidental varía desde los 1,600 msnm hasta los más de 3,000 msnm. En el oriente y poniente se han establecido ecosistemas muy distintos por debajo de los 1,600 msnm, como el bosque tropical caducifolio en el sistema de barrancas (depresiones occidentales) y los pastizales y matorrales en las planicies orientales. Las principales comunidades vegetales encontradas en el ecosistema de los bosques templados son las siguientes: bosque de pinos, bosque de pino-encinos, bosques de encinos, bosques de pino-encino-táscates, y bosques de táscates.

Materiales y métodos

El estudio fue realizado en el estado de Chihuahua, en el cual se establecieron once grandes sitios de observación y debidamente recorridos en los años 2012, 2013 y 2014 (Figura 1). El Cuadro 1 reporta los 11 sitios de observación establecidos en el estado. Se tomaron en cuenta variables gradiente altitudinal, presencia de por lo menos una especie de encino o pino encontrada dentro de la comunidad vegetal, y accesibilidad del terreno para establecer los sitios. Cada sitio fue visitado por lo menos una vez para realizar las siguientes actividades: registro de especies de árboles y arbustos, obtención de imágenes digitales de cada una de las especies (no se recolectó ningún ejemplar vivo de las plantas), descripción de la asociación vegetal, registro de las coordenadas (lat/long), y registro de la elevación (msnm).

No se contabilizaron otros atributos de la vegetación tal como abundancia, densidad, o índices de Simpson o Shannon por ser un estudio de tipo florístico y no ecológico. Muchas de las especies fueron identificadas *in situ*, pero los casos dudosos fueron resueltos con el material digital posteriormente en el laboratorio, mediante la consulta de libros y documentos florísticos (Standley 1920-1923; Martin *et al.*, 1998; Powell *et al.*, 1998; Felger *et al.*, 2001; Garcia-Arevalo *et al.*, 2003, 2004; Henrickson *et al.*, 2004; Lebgue *et al.*, 2008; 2013a, 2013b).

Figura 1. Sitios de observación.



Cuadro 1. Centros de los sitios de observación.

Sitio	Centro del sitio	Región
1	Sierra Rica, Municipio Manuel Benavides	IM
2	Sierra el Presidio, Municipio Juárez	IM
3	Sierra la Amargosa, Municipio Julimes	IM
4	Sierra el Nido, Municipio Chihuahua	IM
5	Parral, Municipio Hidalgo de Parral	SMO
6	Mohinora, Municipio Guadalupe y Calvo	SMO
7	Cuahtémoc, Municipio de Cuahtémoc	SMO
8	Madera, Municipio de Madera	SMO
9	Basaseachi, Municipio de Ocampo	SMO
10	Sinfrosa, Municipio de Guachochi	SMO
11	Sierra San Luis, Municipio de Janos	IM

Cuadro 2. Especies de árboles y arbustos templados y su región de distribución en el estado.

Familia	Especie	Región	Familia	Especie	Región
Agavaceae	<i>Yucca grandiflora</i> Gentry 1957	SMO	Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd. 1806	IM/SMO
	<i>Yucca x schottii</i> Engelm. 1873	SMO		<i>Acacia schaffneri</i> (S. Watson) F.J. Hem. 1948	IM/SMO
Anacardiaceae	<i>Rhus aromatica</i> Aiton 1789	SMO/IM		<i>Erythrina flabelliformis</i> Keamey 1894	SMO
	<i>Rhus schmidelioides</i> Schldl. 1842	SMO		<i>Eysenhardtia orthocarpa</i> (A. Gray) S. Watson 1882	SMO
	<i>Rhus tepetate</i> Standl. & F.A. Barkley 1937	SMO		<i>Mimosa aculeaticarpa</i> var. <i>biuncifera</i> (Benth.) Bameby 1991	IM/SMO
	<i>Rhus terebinthifolia</i> Schldl. & Cham. 1830	SMO		<i>Mimosa dysocarpa</i> Benth. 1852	SMO/IM
	<i>Rhus virens</i> Lindh. ex A. Gray 1850	IM		<i>Mimosa grahamii</i> A. Gray 1853	SMO
	<i>Toxicodendron radicans</i> (L.) Kuntze 1891	SMO/IM		<i>Parkinsonia aculeata</i> L. 1753	IM/SMO
	Aquifoliaceae	<i>Ilex rubra</i> S. Watson 1886		SMO	<i>Prosopis glandulosa</i> Torr. 1827
<i>Ilex tolucana</i> Hemsl. 1878		SMO		Fagaceae	<i>Quercus albocincta</i> Trel 1924
Asteraceae	<i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) A. Gray 1852	SMO/IM	<i>Quercus arizonica</i> Trel 1924		SMO/IM
	<i>Baccharis salicifolia</i> (Ruiz & Pavon) Pers. 1807	SMO/IM	<i>Quercus barrancana</i> Spellenb. 2015		SMO
	<i>Packera candidissima</i> (E.L. Greene) W.Weber & Love 1981	SMO	<i>Quercus candicans</i> Née 1801		SMO
Betulaceae	<i>Senecio salignus</i> DC. 1837	SMO	<i>Quercus chihuahuensis</i> Trel. 1924		SMO/IM
	<i>Alnus oblongifolia</i> Torr. 1859	SMO	<i>Quercus chrysolepis</i> Liebm. 1854		IM
Bignoniaceae	<i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K. Koch. 1873	SMO	<i>Quercus coahuilensis</i> Nixon & C.H. Mull. 1993		IM
	<i>Chilopsis linearis</i> (Cav.) Sweet 1823	IM	<i>Quercus crassifolia</i> Bonpl. 1809		SMO
Caprifoliaceae	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth 1818	IM/SMO	<i>Quercus deliquescens</i> C.H. Müller 1979		IM
	<i>Lonicera cerviculata</i> S.S. White 1947	SMO	<i>Quercus depressipes</i> Trel. 1924		SMO/IM
	<i>Lonicera pilosa</i> (Kunth) Willd. ex Kunth 1818	SMO	<i>Quercus dunifolia</i> Seemen 1900	SMO	
	<i>Symphoricarpos palmeri</i> G.N. Jones 1940	SMO	<i>Quercus emoryi</i> Torr. 1848	IM/SMO	
Cupressaceae	<i>Sambucus nigra</i> L. 1753	SMO	<i>Quercus gambelii</i> Liebm. 1854	SMO/IM	
	<i>Cupressus arizonica</i> Greene 1882	SMO/IM	<i>Quercus gentryi</i> C.H. Müller 1942	SMO	
	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. 1768	SMO	<i>Quercus grisea</i> Liebm. 1854	IM/SMO	
	<i>Cupressus sempervirens</i> L. 1753	CUL	<i>Quercus hinckleyi</i> C.H. Müller 1951	IM	
	<i>Juniperus deppeana</i> Steud. 1840	SMO/IM	<i>Quercus hypoleucooides</i> A. Camus 1932	SMO/IM	
	<i>Juniperus durangensis</i> Martínez 1946	SMO	<i>Quercus jonesii</i> Trel. 1924	SMO	
	<i>Juniperus flaccida</i> Schldl. 1838	SMO	<i>Quercus intricata</i> Trel. 1922	IM	
	<i>Juniperus monosperma</i> (Engelm.) Sarg. 1896	SMO/IM	<i>Quercus mcvaughii</i> Spellenb. 1992	SMO	
	<i>Juniperus scopulorum</i> Sarg. 1897	SMO	<i>Quercus oblongifolia</i> Torr. 1853	SMO	
	Ericaceae	<i>Juniperus scopulorum</i> Sarg. 1897	SMO	<i>Quercus perpallida</i> Trel. 1924	SMO
<i>Arbutus arizonica</i> (A. Gray) Sarg. 1891		SMO/IM	<i>Quercus pungens</i> Liebm. 1854	IM	
<i>Arbutus bicolor</i> S. González, M. González et P.D. Sorensen 2012		SMO	<i>Quercus rugosa</i> Née 1801	SMO/IM	
<i>Arbutus madrensis</i> M. González 1992		SMO	<i>Quercus scytophylla</i> Liebm. 1854	SMO	
<i>Arbutus occidentalis</i> McVaugh & Rosatti 1978		SMO	<i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl. 1809	SMO	
<i>Arbutus tessellata</i> P.D. Sorensen 1987		SMO	<i>Quercus striatula</i> Trel. 1924	SMO	
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth 1818		SMO/IM	<i>Quercus subspathulata</i> Watelet 1866	SMO	
<i>Arctostaphylos pungens</i> Kunth 1818		SMO/IM	<i>Quercus tarahumara</i> Spellenb., J.D. Bacon & Breedlove 1995	SMO	
<i>Comarostaphylis polifolia</i> (Kunth) Zucc. ex Klotzsch 1851		SMO	<i>Quercus toumeyii</i> Sarg. 1895	IM	
<i>Gaultheria glaucifolia</i> Hemsl. 1881		SMO	<i>Quercus tuberculata</i> Liebm. 1854	SMO	
<i>Vaccinium confertum</i> Kunth 1818	SMO	<i>Quercus turbinella</i> Greene 1889	IM		

Cuadro 2. Especies de árboles y arbustos templados y su región de distribución en el estado. Continuación.

Familia	Especie	Región	Familia	Especie	Región
	<i>Quercus vaseyana</i> Buckley 1883	IM	Rhamnaceae	<i>Ceanothus buxifolia</i> Willd. ex Schult. f. 1819	SMO/IM
	<i>Quercus vaseyana</i> Buckley 1883	IM		<i>Ceanothus caeruleus</i> Lag. 1816	SMO
	<i>Quercus viminea</i> Trel. 1924	SMO		<i>Ceanothus depressus</i> Benth. 1839	SMO
	<i>Quercus xaerea</i> Trel 1924	SMO		<i>Ceanothus greggii</i> A. Gray 1853	SMO
	<i>Quercus xbasaseachicensis</i> C.H. Müller	SMO		<i>Ceanothus ochraceus</i> Suess 1940	SMO/IM
	<i>Quercus xepileuca</i> Trel 1924	SMO		<i>Rhamnus betulifolia</i> Greene 1896	SMO
	<i>Quercus xlesueurii</i> C.H. Müller	SMO		<i>Rhamnus microphylla</i> Humb. & Bonpl. ex Schult 1819	SMO
	<i>Quercus xknoblochii</i> C.H. Müller	SMO		<i>Rhamnus pinetorum</i> Standl. 1940	SMO
	<i>Quercus x</i>	SMO		<i>Rhamnus rosei</i> M.C. Johnst. & L.A. Johnst 1978	SMO
Garryaceae	<i>Garrya laurifolia</i> Hartw. ex Benth. 1839	SMO		<i>Rhamnus scopulorum</i> (M.E. Jones) C.B. Wolf 1938	SMO
	<i>Garrya ovata</i> Benth. 1839	SMO	Rosaceae	<i>Amelanchier denticulata</i> (Kunth) K. Koch 1869	SMO
	<i>Garrya wrightii</i> Torr. 1857	SMO/IM		<i>Amelanchier utahensis</i> Koehne 1890	SMO
Grossulariaceae	<i>Ribes ceriferum</i> Coville & Rose 1905	SMO/IM		<i>Cercocarpus montanus</i> var. <i>paucidentatus</i> (S. Watson) F.L. Martin 1950	SMO/IM
	<i>Ribes leptanthum</i> A. Gray 1849	SMO		<i>Fallugia paradoxa</i> (D.Don) Endl. ex Torr. 1848	IM
Juglandaceae	<i>Juglans major</i> var. <i>major</i> (Torr.) A. Heller 1904	SMO/IM		<i>Holodiscus discolor</i> (Pursh.) Maxim. 1879	SMO
	<i>Juglans microcarpa</i> Berl. 1850	IM		<i>Prunus gentryi</i> Standl. 1937	SMO
Lamiaceae	<i>Salvia regla</i> Cav. 1799	SMO		<i>Prunus serotina</i> Ehrh. 1783	SMO
Oleaceae	<i>Fraxinus gooddingii</i> Little 1952	SMO/IM		<i>Purshia mexicana</i> (D. Don) S.L. Welsh 1986	IM/SMO
	<i>Fraxinus velutina</i> Torr. 1848	SMO/IM		<i>Rubus leucodermis</i> Douglas ex Torr. & A. Gray 1840	SMO/IM
	<i>Osmanthus americana</i> (L.) Benth. ex Hook. f.	SMO		<i>Rubus palmeri</i> Rydb. 1943	SMO/IM
Platanaceae	<i>Platanus wrightii</i> S. Watson 1875	SMO	Rubiaceae	<i>Bouvardia multiflora</i> (Cav.) Schult. & Schult. f. 1785	SMO
Pinaceae	<i>Abies concolor</i> Lindl. 1850	SMO		<i>Bouvardia subcordata</i> Standl. 1921	SMO
	<i>Abies durangensis</i> Martínez 1942	SMO		<i>Bouvardia temifolia</i> (Cav.) Schtdl. 1853	SMO/IM
	<i>Picea chihuahuana</i> Martínez 1942	SMO	Salicaceae	<i>Populus alba</i> L. 1753	CUL
	<i>Picea engelmannii</i> subsp. <i>mexicana</i> (Martínez) P.A. Schmidt 1988	SMO		<i>Populus angustifolia</i> E. James 1823	SMO
	<i>Pinus arizonica</i> var. <i>arizonica</i> Engelm. 1878	SMO/IM		<i>Populus deltoidea</i> W. Bartram ex Marshall 1785	CUL
	<i>Pinus arizonica</i> var. <i>cooperi</i> (C.E. Blanco) Farjon 1998	SMO		<i>Populus fremontii</i> S. Watson 1875	IM/SMO
	<i>Pinus cembroides</i> Zucc. 1832	SMO/IM		<i>Populus nigra</i> L. 1753	CUL
	<i>Pinus discolor</i> D.K. Bailey & F.G. Hawksw. 1979	SMO/IM		<i>Populus tremuloides</i> Michx. 1803	SMO
	<i>Pinus douglasiana</i> Martínez 1943	SMO		<i>Salix babylonica</i> L. 1753	CUL
	<i>Pinus durangensis</i> Roezli ex Gordon 1858	SMO		<i>Salix bonplandiana</i> Kunth 1817	SMO
	<i>Pinus edulis</i> Engelm. 1848	IM		<i>Salix exigua</i> Nutt. 1842	SMO/IM
	<i>Pinus engelmannii</i> Camière 1854	SMO/IM		<i>Salix gooddingii</i> C.R. Ball 1905	IM
	<i>Pinus herrerae</i> Martínez 1940	SMO		<i>Salix lasiolepis</i> Benth. 1857	SMO/IM
	<i>Pinus leiophylla</i> var. <i>leiophylla</i> Schlecht. & Cham. 1831	SMO		<i>Salix. Paradoxa</i> Kunth 1817	SMO
	<i>Pinus leiophylla</i> var. <i>chihuahuana</i> (Engelm.) Shaw. 1909	SMO/IM	Sapindaceae	<i>Acer grandidentatum</i> Nutt. 1838	SMO
	<i>Pinus lumholtzii</i> B.L. Rob. & Fernald 1895	SMO	Scrophulariaceae	<i>Buddleja cordata</i> Kunth 1818	SMO
	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schtdl. 1838	SMO		<i>Buddleja parviflora</i> Kunth 1818	SMO
	<i>Pinus remota</i> (Little) D.K. Bailey & Hawksw. 1979	IM		<i>Buddleja sessiliflora</i> Kunth 1818	SMO
	<i>Pinus strobiformis</i> Engelm. 1848	SMO	Tiliaceae	<i>Tilia americana</i> L. 1753	SMO
	<i>Pinus yecorensis</i> Debreczy & I. Rácz 1995	SMO	Ulmaceae	<i>Ulmus pumila</i> L. 1753	CUL
	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco 1950	SMO	Vitaceae	<i>Vitis arizonica</i> Engelm. 1868	SMO/IM

SMO = Sierra Madre Occidental
IM = Islas de Montañas, CUL = Cultivada

Resultados

Riqueza florística de los bosques templados de Chihuahua. Los registros de las plantas leñosas obtenidos durante los recorridos en los lugares antes mencionados permitieron detectar la presencia de: 27 familias, 57 géneros y 163 especies incluyendo variedades e híbridos. Las familias sobresalientes fueron: Fagaceae (encinos) representada por un género (*Quercus*), 34 especies y 6 híbridos; Pinaceae (pináceas): 4 géneros, 19 especies y 2 variedades, (el género *Pinus* domina con 14 especies y 2 variedades); Salicaceae (álamos y sauces): 2 géneros y 12 especies; Rosaceae con 7 géneros y 10 especies; Ericaceae (madroños y aliados): 5 géneros y 10 especies; Rhamnaceae: 2 géneros y 10 especies; Fabaceae (leguminosas): 6 géneros y 9 especies; Cupressaceae (sabinos y táscales): 2 géneros y 8 especies; y la familia Anacardiaceae: 2 géneros y 6 especies. Las restantes familias, en forma general, son monogénicas y constituidas por dos o tres especies. El Cuadro 2 enlista todas las especies encontradas y reportadas para estos tipos de bosques en el estado.

Al observar el Cuadro 2, sobresale la región de la Sierra Madre Occidental (SMO) con la mayoría de las especies de árboles y arbustos templados en comparación con la región de las Islas de Montañas (IM): 94 especies (60%) son exclusivas del macizo forestal; 45 de ellas (30%) son compartidas entre las dos regiones y solo 16 especies (17%) son exclusivas de la región de las Islas de Montañas.

Tomando en cuenta los dos grandes grupos de plantas que fueron objeto de este proyecto (encinos y pinos), México es el centro de distribución de especies de encinos a nivel mundial con 161 especies (Arizaga *et al.*, 2009). De esta cantidad, el estado de Chihuahua contribuye con 34 especies (21% del total nacional): 19 encinos blancos, 14 encinos rojos y un encino intermedio. Las 34 especies de encinos ubican a esta familia de árboles como la más dominante y ecológicamente representa

el componente biótico más importante en los bosques templados de Chihuahua, cuando se toma en cuenta el papel preponderante que tiene en dichos ecosistemas. Por ser especies latifoliadas (hojas anchas) y la mayoría de ellas caducifolias (que pierden sus hojas durante un periodo del año), las hojas de los encinos aportan y contribuyen con una gran cantidad de materia orgánica para la formación y mantenimiento de los suelos en los bosques templados. Los encinos también son fuente de alimento y refugio para muchas especies de animales silvestres. Y por qué no, son sin duda de valor excepcional para el humano: madera, leña, corcho, tanino, carbón, colorantes, incluyendo alimentación (Flores, 2007). Probablemente será imposible imaginar los bosques templados de Chihuahua sin la presencia de los encinos.

México es también el país con mayor número de especies de pinos en el mundo (García *et al.*, 1998). Las pináceas son representadas a nivel nacional por 4 géneros y 61 especies (Gernandt *et al.*, 2014). En Chihuahua, se encuentran los mismos 4 géneros y 21 especies o sea el 34% del total nacional. Igual que los encinos, las pináceas forman parte inherente de los bosques templados de Chihuahua y sin duda, es el grupo de plantas que modifica más los factores ambientales de la Sierra Madre Occidental por ser constituidos por elementos perennifolios (siempre verdes) y como tal, tiene mucha influencia sobre las variaciones diarias y temporales de la temperatura, así como sobre la ocurrencia y cantidad de lluvias. Las pináceas son también fuente importante de alimentación y refugio para muchas especies de fauna silvestre. Para ilustrar esto, la presencia temporal de la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) en los bosques de Chihuahua se debe a la producción masiva de frutos de los pinos que son la fuente principal de alimentación (Sánchez, 2007).

Así de importantes para la vida silvestre, las pináceas son también de gran utilidad para la humanidad. Son uno de los grupos de plantas

más utilizadas por el ser humano porque intervienen en casi todas sus actividades: económicas (producción y comercialización de la madera de los pinos), científicas (los anillos agregados cada año en los troncos aportan información valiosa sobre el comportamiento de los factores climáticos, agua y temperatura, en el pasado), sociales, culturales (los indígenas de Chihuahua veneran los árboles de pinos), artesanales y estéticas (muchos jardines y parques tienen plantas de pináceas).

Es prácticamente imposible la existencia y el desarrollo de un bosque templado sin los componentes claves de este grupo de plantas.

Pinos y encinos en los estados colindantes. En cuanto a la diversidad de especies de los mismos dos grupos antes mencionados en los estados colindantes, Martin *et al.* (1998) y Felger *et al.* (2001) reportan 14 especies de pináceas y 18 especies de encinos para el estado de Sonora; mientras que García *et al.* (1998) indican que existen 25 pináceas en el estado de Durango. Para el estado de Coahuila, Favela (1998) reporta 20 especies de pinos; y Villareal *et al.* (2014) estiman la presencia de 30 especies de encinos en esta misma entidad federativa. Compartivamente, Chihuahua tiene una buena diversidad de pinos y encinos

Marco legal de las especies de árboles y arbustos templados en Chihuahua. La NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010) enlista para el estado de Chihuahua 11 especies de árboles templados (Cuadro 3).

La Convención sobre el Comercio Internacional de las Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2015) no enlista ninguna especie de árboles o arbustos templados de Chihuahua.

Por otro lado, 7 de las 11 especies enlistadas en la norma mexicana, aparecen en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y Recursos Naturales (IUCN, 2012) (Cuadro 4).

A pesar de los múltiples usos y en algunos casos, hasta una sobreexplotación de ellos, no hay ninguna especie de encinos reportada en

la norma, ni en Cites, ni en la IUCN para el estado de Chihuahua. Quizás, esto se deba a la falta de estudio que justifique la situación ecológica de cada una de las 34 especies, o que simplemente la regeneración, distribución y sobre todo la resiliencia de los encinos es mejor que los otros grupos de plantas en los bosques templados. Sin embargo, se recomienda practicar un aprovechamiento sostenible de ellos y desarrollar e implementar programas de reforestación masiva de encinos, igual como se hace para los pinos, a nivel nacional o por lo menos en el estado en algunas áreas ya muy degradadas.

Cuadro 3: Especies de árboles templados en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Familia	Especie	Distribución	Categoría
Agavaceae	<i>Yucca grandiflora</i>	endémica	Pr
Betulaceae	<i>Ostrya virginiana</i>	no endémica	Pr
Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i>	no endémica	Pr
Juglandaceae	<i>Juglans major</i>	no endémica	A
Malvaceae	<i>Tilia americana</i>	no endémica	P
Pinaceae	<i>Abies concolor</i>	no endémica	Pr
Pinaceae	<i>Picea chihuahuana</i>	no endémica	P
Pinaceae	<i>Picea engelmannii</i> subsp. <i>mexicana</i>	no endémica	P
Pinaceae	<i>Pinus remota</i>	endémica	Pr
Pinaceae	<i>Pinus strobiformis</i>	no endémica	Pr
Pinaceae	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	endémica	Pr

Cuadro 4. Especies de árboles templados en la lista roja de la IUCN-2013.

Familia	Especie	Categoría
Betulaceae	<i>Ostrya virginiana</i>	LC
Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i>	LC
Pinaceae	<i>Abies concolor</i>	LC
Pinaceae	<i>Picea chihuahuana</i>	EN
Pinaceae	<i>Pinus remota</i>	LC
Pinaceae	<i>Pinus strobiformis</i>	LC
Pinaceae	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	LC

LC = Least concern (de preocupación menor)
EN = Endangered (amenazada)

Conclusión

El estado de Chihuahua cuenta con una gran variedad y riqueza de árboles y arbustos que son la base tanto de las actividades económicas forestales como del sustento de la vida de casi todas las comunidades rurales que hacen de los bosques su lugar de sobrevivencia. Tomando en cuenta su importancia, cualquier programa de manejo y aprovechamiento forestal debe enfocarse en actividades para la conservación y perpetuación de las diversas especies, sobre todo de pinos y encinos para salvaguardar un patrimonio natural tanto para el humano mismo como para la vida silvestre en general.

Agradecimientos

Agradecimientos al Fondo Mixto-Conacyt, Gobierno de Estado de Chihuahua y la Universidad Autónoma de Chihuahua en la realización de este proyecto, así como a todos los participantes que alguna forma han contribuido para hacer disponible el presente conocimiento sobre este grupo de plantas tan importante en las asociaciones vegetales.

Literatura citada

Arizaga, S., J. Martínez-Cruz, M. Salcedo-Cabrales, M. Á. Bello-González. 2009. Manual de la Biodiversidad de los Encinos Michoacanos. INE-SEMARNAT. Mexico, DF.

Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna (CITES). 2015. Apéndice I, II and III. International Environment House. Geneva, Switzerland

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, DF.

Estrada, C. E., R. Spellenberg y T. Lebgue. 1997. Flora Vascular de la Laguna de Babicora, Chihuahua, Mexico. *Sida* 17(4): 809-827.

Estrada-Castillón, E., E. Jurado, J.J. Navar, J. Jimenez-Perez y F. Garza-Ocañas. 2003. Plant Associations of Cumbre de Majalca National Park, Chihuahua, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 48(2): 177-187.

Felger, R.S., M.B. Johnson & M.F. Wilson. 2001. The Trees of Sonora, Mexico. Oxford University Press. Oxford, New York.

Flores, C. J. A. 2007. Análisis de Gradiente y Dinámica Sucesional de Bosques de Encinos (*Quercus*) en las Sierras Madre Oriental y Occidental de México. Tesis. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.

García-Arevalo, A. & M.S. Gonzalez-Elizondo. 2003. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional Durango. Xalapa, Veracruz.

García-Arevalo, A. y R. Spellenberg. 2004. Las Coníferas del Parque Nacional «Cascada de Basaseachi», Chihuahua, México. *Bio Tam Nueva Serie*, 15(1): 33-50.

Gerandt, D.S. y J. A. Pérez-de la Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85.

González-Elizondo, M.S. y M. González-Elizondo. 1992. Una Nueva Especie de *Arbutus* (Ericaceae, Arbuteae) de la Sierra Madre Occidental, Mexico. *Acta Botánica* 17: 7-12

González-Elizondo, M.S. y M. González-Elizondo. 2012. *Arbutus bicolor* (Ericaceae, Arbuteae) a New Species from Mexico. *Acta Botánica* 99: 55-72.

González-Elizondo, M.S., M. González-Elizondo y S. Zamudio. 2012. Delimitación taxonómica de *Arbutus mollis* y *A. occidentalis* (Ericaceae). *Acta Botánica Mexicana* 101: 49-81.

González-Elizondo, M.S., M. González-Elizondo, J. A. Tena-Flores, L. Ruacho-González e I. L. López-Enríquez. 2012. Vegetación de la Sierra Madre Occidental: una síntesis. *Acta Botánica*, 100.

Henrickson, J. y M.C. Johnston. 2004. A Flora of the Chihuahuan Desert Region. A prepublication Copy.

INEGI. 2004. Síntesis de información Geográfica del estado de Chihuahua. Aguascalientes, Ags., Talleres Gráficos del INEGI. 35 p.

IUCN. 2012. Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN. iii + 41pp.

Lebgue, K.T., R. Soto C. y Y. Aviña D. 2008. Xérojardines: Manual de Plantas para Jardines Desérticos. Talleres Gráficos del Estado de Chihuahua. Chihuahua, México.

Lebgue, K.T. 2013. *Gramíneas de Chihuahua*. Colección de Textos Universitarios. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih., México.

Lebgue, K.T. y G. Quintana M. 2013. Cactáceas de Chihuahua. Talleres Gráficos del Estado de Chihuahua. Chihuahua, México.

Martin, P.S., D. Yerman, M. Fisbein, P. Jenkins, T. R. Van Devender, R. K. Wilson. 1998. Gentry's Rio Mayo Plants. The University of Arizona Press, Tucson, AZ.

Martínez, M. 1948. Los Pinos Mexicanos. Ediciones Botas. México, DF.

Pérez-Olvera, Carmen de la Paz y Dávalos-Sotelo, Raymundo. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques*, 14(3): 43-80

Powell, A.M. 1998. Trees and Shrubs of The Transpecos and Adjacent Areas. University of Texas Press, Austin, Texas.

Ruelas M. L. C., Dávalos S. R. 1999. Madera y Bosques. La industria forestal del estado de Chihuahua. *Madera y Bosques*, 5(2): 79-91.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de Mexico. Ed. Limusa, Mexico DF.

Sánchez, M. M.A. 2007. Caracterización del hábitat de la Cotorra Serrana Occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*), en el Municipio de Madera, Chihuahua, México. Tesis. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.

Sorensen, P.D. 1987. *Arbutus tessellata* (Ericaceae), New From Mexico. *Brittonia* 39(2): 263-267.

Spellenberg, R. 1990. Nota sobre el tipo, la identificación y la localidad del tipo de *Quercus oblongifolia* var. *pallidinervis* (Fagaceae) en Chihuahua. *Acta Botánica Mexicana*, 10: 1-2.

Spellenberg, R. 1992. A New Species of Black Oak (*Quercus*, Subg. *Erythrobalanus*, Fagaceae) from the Sierra Madre Occidental, Mexico. *American Journal of Botany* 79(10): 1200-1206.

Spellenberg, R. 1995. On the Hybrid Nature of *Quercus basaseachensis* (Fagaceae, Sect. *Quercus*). *Sida* 16(3): 427-437.

Spellenberg, R. 1996. Taxonomy and Distribution of a Natural Group of Black Oaks of Mexico (*Quercus*, section *Lobatae*, subsection *Racemiflorae*). *Systematic Botany* 21(1): 85-99.

Spellenberg, R., T. Lebgue y R. Corral-Díaz. 1996. A Specimen-based, Annotated Checklist of the Vascular Plants of Parque Nacional «Cascada de Basaseachi» and Adjacent Areas, Chihuahua, Mexico. Listados Florísticos de México. Instituto de Biología, UNAM, México, DF.

Spellenberg, R. 1998. *Quercus lesueuri*, un miembro meridional del complejo de *Q. x undulata* (Fagaceae, subgénero *Quercus*). *Acta Botánica Mexicana*, 42: 25-33

Spellenberg, R. 2014. *Quercus barrancana* (Sect. *Quercus*, aks aks), a new species from northwestern Mexico. *Phytoneuron*, 105: 1-12.

Standley, P.C. 1920-1926. Trees and Shrubs of Mexico. *Contributions from the United National Herbarium*, 23: 1-1721. (6)

Este artículo es citado así:

Lebgue-Keleng, T., R. Soto-Cruz, G. Quintana-Martínez, M. Quiñonez-Martínez, S. Balderrama-Castañeda, A. Melgoza-Castillo, C.R. Morales-Nieto y L. Cortes-Palacios. 2015. Árboles y arbustos templados de Chihuahua, México. *TECNOCENCIA Chihuahua* 9(1): 49-57.

Resumen curricular del autor y coautores

TOUTCHA LEBGUE KELENG. Maestro-investigador de tiempo completo y con grado de Doctor en Recursos Naturales, en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Licenciatura en Manejo de Pastizales y Maestría en Biología Vegetal, ambos grados obtenidos de la Universidad Estatal de Nuevo Mexico, USA. El Dr. Lebgue en sus actividades de docencia y de investigación, ha publicado varios artículos arbitrados, capítulos de libros, memorias en extenso y varios libros, de los cuales destacan: La Flora de Fort Stanton, NM, en 1985; Gramíneas de Chihuahua, en sus 4 ediciones: 1986, 1991, 2002 y 2013; Manual de Plantas Forrajeras, en 2005; Manual Práctico para la Identificación de las Plantas en los Agostaderos de Chihuahua en 2006 y 2008; Xerojardines: Manual de plantas para Jardines Desérticos en 2008; Buscando a Nelson en 2009; Una Guía de las Plantas Silvestres de la Región del Cañón de Cobre en 2009; Cactáceas de Chihuahua: Tesoro Estatal en Peligro de Extinción en 2010, Cactáceas de Chihuahua en 2013 y Pinos y Encinos de Chihuahua en 2015.

RICARDO ABEL SOTO CRUZ. Maestro investigador de tiempo completo con Maestría en Ciencias en Producción Animal en área de Recursos Naturales. El Maestro Soto participa en la docencia impartiendo cursos de Educación Ambiental y Manejo de Áreas Naturales Protegidas. Ha publicado varios artículos arbitrados sobre temas de educación ambiental y de manejo de recursos naturales y ha contribuido con varios capítulos en el libro de la Biodiversidad del Estado de Chihuahua. Ha dirigido y asesorado varias tesis a nivel licenciatura y maestría. El Maestro Soto ha publicado más de 20 artículos en Memorias Científicas de congresos nacionales e internacionales. Actualmente, funge como Secretario Académico de la Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua.

GUSTAVO QUINTANA MARTÍNEZ. Maestro investigador de tiempo completo con grado de Maestría en Ciencias en Producción Animal en área de Recursos Naturales. Como docente universitario, el Maestro Quintana ha impartido varios cursos a nivel licenciatura y maestría y ha asesorado y dirigido más de 45 tesis, ha publicado más de 20 artículos en revistas arbitradas, 5 capítulos de libros; ha sido coautor de 3 libros y ha participado con muchas ponencias en congresos nacionales e internacionales. El Maestro Quintana es actualmente Coordinador de la Carrera de Ingeniero en Ecología y el curador del herbario de la Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua.

MIROSLAVA QUIÑÓNEZ MARTÍNEZ. Es Bióloga egresada del Instituto Tecnológico de los Mochis. Sus estudios de Maestría y Doctorado los realizó en el Área de Recursos Naturales, en la Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua. La Dra. Quiñónez es actualmente Maestra-Investigadora del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Imparte clases de Ecología de Comunidades, Diseño Experimental e Investigación en del Programa de Biología y la Maestría en Ciencias Químico-Biológicas de la UACJ. Ha publicado Libros, capítulos de libros y artículos referentes a Ecología de comunidades vegetales, comunidades fúngicas y aspectos de etnomicología.

SALVADOR BALDERRAMA CASTAÑEDA. Maestro-investigador de tiempo completo con doctorado en Manejo de Recursos Naturales por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Egresado como Ingeniero Zootecnista de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la misma universidad en 1980; obtuvo el grado de Maestría en Estudios Agropecuarios en la Universidad de Queensland, Australia en 1986 y un diplomado en investigación agropecuaria orientada por el ICRA en Wageningen, Holanda en 1987. Sus áreas de interés en docencia e investigación son el desarrollo sustentable y el manejo sustentable de bosques y pastizales, particularmente la mitigación del cambio climático y captura de carbono.

CARLOS RAÚL MORALES NIETO. Maestro-investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Licenciatura en Manejo de Pastizales (Facultad de Zootecnia) y Maestría en Tecnología de semillas (UAAAN) y Doctorado en Genética (Colegio de Posgraduados). El Dr. Morales en sus actividades de docencia y de investigación, ha publicado artículos científicos, capítulos de libros, diagnósticos pecuarios, manuales técnicos, memorias en extenso, de los cuales destacan: Manual Práctico para la identificación de las principales plantas en los agostaderos de Chihuahua, 2006 y 2008. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de pasto Banderita en México. *Agrocencia* 2008;42:767-775. Análisis morfológico de la diversidad del pasto navajita en Chihuahua, México. *Téc Pecu Méx* 2009;47(3):245-256. Caracterización fenotípica y molecular de poblaciones de zacate punta blanca. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2012;3(2). Abril-Junio de 2012. Caracterización morfológica y molecular de *Leptochloa dubia* (poaceae) en Chihuahua, México. *Pollibotánica.* 2013 (36):13-28. Situación actual de los recursos genéticos del complejo navajita (*Bouteloua gracilis*). La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado. CONABIO. México, pp. 278-286.

Guía para autores de escritos científicos

Política editorial

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

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

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

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

Manuscritos

Se entregarán 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

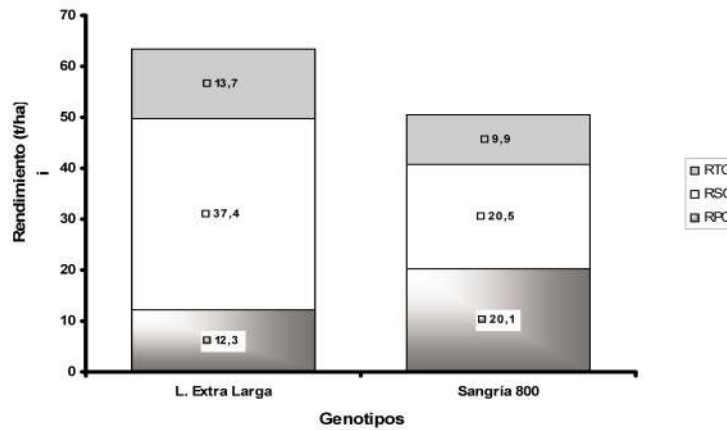
En las figuras no se debe duplicar la información presentada en los cuadros o viceversa. Se recomienda el uso de medidas de acuerdo al Sistema Métrico Decimal y las abreviaturas utilizadas deberán apearse a las recomendaciones que aparecen en la tabla que se anexa al presente documento.

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*. 

TECNOCIENCIA Chihuahua

Revista arbitrada de ciencia, tecnología y humanidades

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



CARACTERÍSTICAS

Propósito

Divulgar avances científicos y tecnológicos

A quién se dirige

Académicos, científicos, tecnólogos, profesionistas, estudiantes y empresarios

Periodicidad

Cuatrimestral

Fuentes de financiamiento

Presupuesto de la UACH, donativos, suscripciones y publicidad

Circulación

Nacional e internacional

Oficinas de la revista

Dirección de Investigación y Posgrado

Página Web

<http://tecnociencia.uach.mx>

SECCIONES:

▲ *El científico frente a la sociedad*

▲ *Artículos científicos por áreas del conocimiento:*

- Alimentos
- Salud y Deporte
- Ingeniería y Tecnología
- Educación y Humanidades
- Economía y Administración
- Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable

▲ *Creatividad y desarrollo tecnológico*

TRABAJOS ARBITRADOS:

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



Si desea publicar un artículo, vea la "Guía para autores" en la página web: <http://tecnociencia.uach.mx>
Información para publicación o suscripción, al correo: tecnociencia.chihuahua@uach.mx, o al Tel: (614) 439-1822 Ext. 2213



latindex

PERIÓDICA
Indice en Red de Periódicos de Ciencia

2° CONGRESO INTERINSTITUCIONAL DE JÓVENES INVESTIGADORES



2^o
Congreso
Interinstitucional
de Jóvenes Investigadores

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
6 y 7 de NOVIEMBRE de 2015



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA