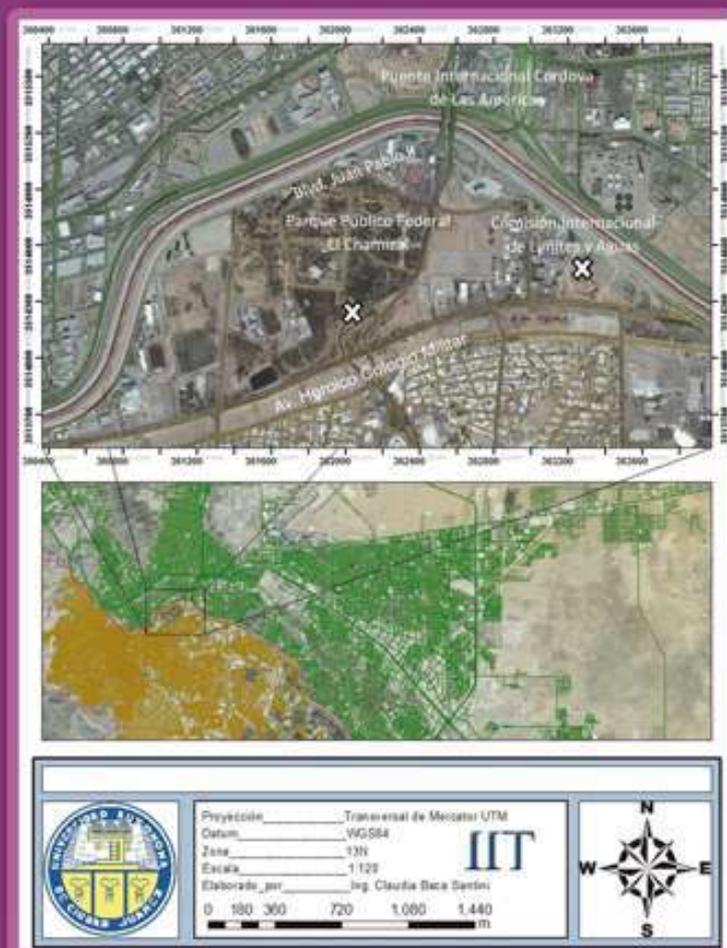
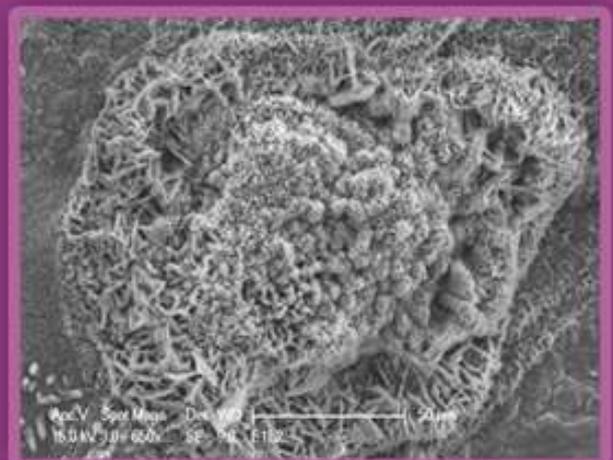


TECNOLOGIA Ciencia Chihuahua

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



Estudio comparativo de la influencia de las zonas arboladas urbanas en la calidad del aire de Ciudad Juárez, Chihuahua, México



Corrosión del acero al bajo carbono en atmósferas contaminadas por compuestos de azufre



Análisis sobre vulnerabilidad en los Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía de México



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 3, Septiembre-Diciembre 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		Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable
La bioética y los avances científicos		Estudio comparativo de la influencia de las zonas arboladas urbanas en la calidad del aire de Ciudad Juárez, Chihuahua, México
	<i>Martha P. Striedinger</i>	
	129	
Alimentos		<i>Claudia Elizabeth Baca-Santini</i> <i>Felipe Adrián Vázquez-Gálvez</i>
Tasa de fertilización, desarrollo y calidad de embriones bovinos Holstein producidos <i>in</i> <i>vitro</i> con semen sexado y adición de IGF-I		171
	<i>Octavio Martínez-Guerrero</i> <i>Javier Antillón-Ruíz</i> <i>Felipe Alonso Rodríguez-Almeida</i>	
	140	Análisis de propuestas metodológicas sobre vulnerabilidad contenidas en los Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía de México
Ingeniería y Tecnología		<i>Raúl Alfredo Meza-González</i> <i>Oscar Fidencio Ibáñez-Hernández</i>
Una revisión de redes MLP como clasificadores de múltiples clases		180
	<i>Ricardo Majalca Martínez</i> <i>Pedro Rafael Acosta Cano de los Ríos</i>	
	148	
Caracterización de productos de corrosión del acero al bajo carbono en atmósferas contaminadas por compuestos de azufre		
	<i>Jorge Lorenzo Gómez-Pascual</i> <i>Ileana Rizo-Alvarez</i>	
	160	

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

Los avances científicos son muestra de la constante búsqueda del ser humano por subsistir como especie al adaptarse a su entorno. Sin embargo, los dilemas bioéticos surgen a la par de los avances en la investigación científica: la manipulación del ADN, el trasplante de órganos, la reproducción asistida y la experimentación con seres humanos son temas controversiales de actualidad, los cuales se abordan con detalle en el artículo: "La bioética y los avances científicos".

La adición de IGF-I a los medios de fertilización *in vitro* y cultivo de embriones bovinos ha sido propuesta como una forma de imitar las señales maternas de la gestación temprana en el útero. En el artículo: "Tasa de fertilización, desarrollo y calidad de embriones bovinos Holstein producidos *in vitro* con semen sexado y adición de IGF-I" se presenta un estudio para evaluar la adición del factor de crecimiento similar a la insulina tipo-I (IGF-I) sobre la tasa de fertilización con semen sexado (SS) y de blastocistos bovinos producidos *in vitro*, así como la calidad embrionaria. Aunque la adición de IGF-I a los medios de fertilización y cultivo *in vitro* no tuvieron un efecto benéfico para la producción de embriones en las condiciones de este estudio, sí influyó en la fertilidad del semen sexado.

En el artículo "Una revisión de redes MLP como clasificadores de múltiples clases" se presenta el estado actual de los clasificadores de múltiples clases implementados con redes *Multi Layer Perceptron*, MLP. También se presentan aspectos de arquitectura de las redes MLP clasificadoras, incluyendo consideraciones de diseño y organización tales como: capas de entrada, ocultas y de salida, así como la cantidad de neuronas en cada capa, su aplicación y desempeño. Las redes MLP tienen aplicaciones en los campos de la medicina, ventas e ingeniería, para la determinación de patrones de comportamiento, detección de condiciones específicas y fallas, entre otras.

La corrosión atmosférica es un proceso que degrada el material metálico expuesto a un medio ambiente

agresivo, como lugares donde prevalece la contaminación por compuestos de azufre y el aerosol marino. Los investigadores del estudio "Caracterización de productos de corrosión del acero al bajo carbono en atmósferas contaminadas por compuestos de azufre" utilizaron diversas técnicas analíticas para identificar a los óxidos y oxihidróxidos de hierro hidratados: goethita, lepidocrocita, magnetita y akaganeita, relacionados con la velocidad de corrosión del metal de las zonas petroleras en Cuba.

En el área de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, se presenta el artículo: "Estudio comparativo de la influencia de las zonas arboladas urbanas en la calidad del aire de Ciudad Juárez, Chihuahua, México", donde se comprueba la importancia de la infraestructura verde en las zonas urbanas de climas semiáridos para reducir los contaminantes presentes en el aire, y que están relacionados con procesos inflamatorios en el sistema respiratorio y cardiovascular.

Las sequías y la vulnerabilidad en México generan impactos negativos en la economía, la sociedad y los ecosistemas. En el artículo "Análisis de propuestas metodológicas sobre vulnerabilidad contenidas en los Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía de México" se analiza el aspecto de vulnerabilidad en estas estrategias, derivadas del Programa Nacional contra la Sequía (PRONACOSE) para comparar propuestas metodológicas y sus implicaciones en la definición de medidas de prevención y mitigación ante un eventual periodo de sequía.

EQUIPO EDITORIAL
REVISTA TECNOCENCIA CHIHUAHUA

La bioética y los avances científicos

Bioethics and scientific advances

MARTHA P. STRIEDINGER^{1,2}

Resumen

La investigación, el bienestar y la supervivencia son tres términos diferentes que siempre han actuado desde un mismo espacio; el hombre constantemente ha manipulado su entorno para que este actúe a conveniencia, por ello, este artículo de reflexión muestra problemáticas bioéticas asociadas a los avances científicos que imperan en nuevas alternativas de subsistencia y pretenden mejorar y prevalecer como especie humana y su entorno. Por tal motivo, se abordaron las siguientes temáticas: investigación científica, el ADN, trasplante de órganos, muerte cerebral, reproducción asistida y experimentación con seres humanos.

Palabras clave: biotecnología, ingeniería genética, investigación, experimentación, trasplante de órganos, muerte cerebral, reproducción asistida, derecho.

Abstract

The research, welfare and survival are three different terms that have always acted from the same space, man has always manipulated their environment so that this acted to convenience, therefore, this article's reflection shows bioethical issues associated with scientific prevailing in new alternative livelihood and aim to improve and prevail as a human species. For this reason the following topics were discussed: scientific research, DNA, organ transplantation, brain death, assisted reproduction and human experimentation.

Keywords: biotechnology, genetic engineering, research, experimentation, organ transplantation, brain death, assisted reproduction, law.

«La libertad y la salud se asemejan:
su verdadero valor se conoce cuando nos faltan»
Henri Becque

Introducción

La vida es considerada una lucha incesante por continuar existiendo; afirma Potter «en conclusión, les pido que piensen en la bioética como una nueva ética científica que combina la humildad, la responsabilidad y la competencia, que es interdisciplinaria e intercultural y que intensifica el sentido de la Humanidad» (1998,32). Desde la fecundación del óvulo se empieza una batalla a contra reloj, desplegándose una compleja red de desarrollo con una alta proliferación celular que se va diferenciando en partes específicas de un embrión, el cual está programado para concluir en un nuevo ser como expresión del material genético de sus progenitores.

¹ Universidad Militar Nueva Granada. División de Publicaciones, Comunicaciones y Mercadeo. Dirección: Carrera 11 101 - 80. Teléfono: 650-0000 634-3200 Ext 1110 a 1113. Bogotá DC – Colombia.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: martha.striedinger@gmail.com.

No todos los procesos embrionarios finalizan, en concordancia, muchos de los futuros humanos no existirán. Es aquí, en donde la ciencia ha tomado el papel de velar por la conservación de la especie humana adelantando infinidad de investigaciones en torno al cuidado de la salud; evidenciándose problemas bioéticos cuando no hay límites de investigación al igual que cuando existen y estos no permiten investigar. «Hay dos culturas –ciencias y humanidades- que parecen incapaces de hablarse la una a la otra y si ésta es parte de la razón de que el futuro de la humanidad sea incierto, entonces posiblemente podríamos construir un «puente hacia el futuro» construyendo la disciplina de la bioética como un puente entre las dos culturas. Los valores éticos no pueden ser separados de los hechos biológicos» (Potter, 1971).

Consecuente con ello, la bioética concebida como aquella sana relación consigo mismo, con los demás y con el entorno, permite establecer aproximaciones a los dilemas éticos en la investigación científica, la cual se retroalimenta de la moral del investigador, entendida esta como la objetividad en la subjetividad y un escalón necesario para llegar al componente ético –la sana conciencia en el actuar – (Tirado, 2011c). La bioética no sólo estudia el área bioclínica, sino también incursiona en otras ciencias, como las sociales y humanas, facilitando elementos para encontrar salidas permutables a las grandes problemáticas sociales que hoy aquejan a la humanidad.

Por ende, el presente artículo de reflexión tiene como objetivo general evidenciar algunos problemas bioéticos que pueden aquejar directamente el desarrollo de las ciencias de la salud, entre ellas, como eje central, las diferentes limitaciones, aproximaciones e interpretaciones en la investigación científica y su relación con las restricciones de acceso y desarrollo por factores como el económico y sociocultural, en la evolución de las ciencias implicadas en la supervivencia del *Homo sapiens*. Consecuentemente, se dará una mirada interdisciplinar a temáticas como las de ADN, el trasplante de órganos como alternativa de sobrevivencia, muerte cerebral frente a la obtención de órganos, reproducción asistida: avance o retroceso de la humanidad y la experimentación con seres humanos.

Metodología

La metodología utilizada es de tipo exploratorio y toma como componente la revisión documental mediante el uso de la dialéctica, en torno a la investigación científica, el ADN, trasplante de órganos, muerte cerebral, reproducción asistida y experimentación con seres humanos.

Resultados y discusión

Investigación científica

Investigar se define como la búsqueda de medios para esclarecer una cosa, por lo cual la investigación es el proceso empleado en la indagación de la verdad sobre el objeto a investigar, su único fin es enriquecer los conocimientos del hombre para llegar a evidenciar algo que está desconocido o no es claro (Cegarra, 2011: 41).

Es así que el conocimiento científico debe cumplir algunas condiciones, siendo fáctico, legal, claro y preciso, sistemático, metódico, verificable, comunicable, explicativo, predictivo, en ocasiones generalista, útil y ético. En especial bioético, el fin de las investigaciones, en aras de desarrollo científico, no debe vulnerar los principios éticos en sus procedimientos, y mucho menos atentar contra el bienestar de los individuos o el entorno de estos.

Debe ser útil, pero la utilidad se debe enmarcar en límites que no tipifiquen un delito y no generen daño actual o posterior a un entorno social, ambiental o económico. El problema es ¿qué hacer cuando esta investigación se prohíbe porque sus procedimientos o fines están descritos en las leyes de cada país como antijurídicas, pero su conocimiento experimental se hace necesario para evaluar aspectos propios de desarrollo pluridimensional para un fin concreto que pueda beneficiar la humanidad o su entorno?

Por eloc sería atrevido decir que la investigación es producto de la creatividad, pues, como se mencionó anteriormente, la creatividad está limitada por obligaciones que deben estar presentes en el plano moral de la vida humana, que tal vez pueden entorpecer los procesos de desarrollo en algunas áreas científicas, dado que la investigación nace como consecuencia de dar solución a problemas planteados por el hombre, aquí es donde esas posibles soluciones

deben de seguir metodologías creativas limitadas que no generen riesgos a un bien jurídico protegido.

De este modo, la investigación científica ha despertado una nueva discusión ética, filosófica, jurídica, médica y biológica sobre qué se puede investigar y hasta dónde investigar. Dado que actualmente no se cuenta con respuestas definitivas, la discusión ética gira en torno a la readaptación de las disposiciones jurídicas tradicionales que permitan investigar y construir el conocimiento, pero que a su vez regule las metodologías, limitando la creatividad para llegar a ese conocimiento.

Hay quienes plantean una legislación clara con lineamientos científicos estrictos que identifique qué se debe apoyar, garantizando y protegiendo bienes jurídicos que puedan verse implicados, delimitando lo prohibido y sancionable, y a través de qué instrumentos jurídicos (Borillo, 1996: 133). Claro está que en la construcción de estos nuevos lineamientos debe estar inmersa la opinión de los gremios científicos, porque son ellos los llamados a establecer sus propios límites de investigación como simbiosis de las ciencias de la vida y las ciencias socio jurídicas.

El DNA, una estrategia de conservación

La biotecnología, pionera en persistir por el elixir de la eterna juventud, ha conllevado al desciframiento del código genético; el querer saber cómo funciona el DNA¹ y RNA², generó una disciplina denominada *ingeniería genética*, que es definida según El dorado (2009), como «*la manipulación deliberada de la información genética, con miras al análisis o al mejoramiento de una especie*». (p.8).

La medicina en la era genómica se va tornando cada vez más preventiva que curativa. De ahí que el conocimiento obtenido de los genes permite desarrollar *test* de diagnóstico genético a personas ya enfermas o a aquellas que todavía no han desarrollado una particular afección génica (Santos, 2004: 191). Significa que las personas pueden acceder a un test genético para saber qué mutaciones o qué

falencias presenta su genoma, prediciendo futuras enfermedades, lo cual en la actualidad ya es inequitativo, ya que las personas de escasos recursos no pueden acceder a un test de genética molecular.

Los polilemas surgen por el cuidado de la información de los test, condicionalmente se convierte en un blanco para las aseguradoras, quienes decidirán a quién afiliarse o no, de igual forma, será un requisito laboral para determinar el potencial rendimiento del trabajador y será una herramienta de selección de personal (Naranjo, 2006: 437).

Pero no todo es un panorama oscuro, la investigación sobre los genomas permite que existan curas específicas para personas que sufren determinadas enfermedades. Ejemplo de ello, la farmacogenómica, definida como la ciencia que estudia el resultado de una variación en el genoma de un organismo y su respuesta a una droga específica. Tiene como propósito estudiar los genes que influyen en la actividad, toxicidad y el metabolismo de una droga, y así proporcionar la información necesaria para prescribir un tratamiento a la dosis más eficaz, menos tóxica y, además, específica para cada paciente (Frias, 2007: 99). Reiterándose que no es inclusiva y solo puede acceder a ella quien tiene recursos económicos.

Al mismo tiempo que se tuvo acceso al DNA se han adelantado investigaciones en la manipulación del material genético de diferentes especies; al respecto, conviene decir que, como se pueden crear fármacos específicos para cura de enfermedades, también se pueden diseñar virus, hongos, bacterias o derivados de estos capaces de afectar poblaciones con determinadas características, siendo utilizados como armas biológicas desde años atrás (Rio, 2001: 585).

El establecimiento de los postulados de Koch y el desarrollo de la microbiología moderna aplicada al análisis y comportamiento de los microorganismos a partir de la investigación del DNA y RNA, han permitido el aislamiento y producción de arsenales de agentes infecciosos destinados a atacar al hombre

¹ Ácido desoxirribonucleico (DNA), es un polímero de unidades menores denominados nucleótidos, el cual constituye la porción prostética de los nucleoproteidos, descubierto en el núcleo celular.

² Ácido ribonucleico (RNA) formado por ribonucleótidos (nucleótido de ribosa), sus bases nitrogenadas son adenina, guanina, citosina y uracilo, compuesto este último que sustituye a la timina del DNA. A diferencia del DNA, el RNA es casi siempre monocatenario. p. 1. <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r46261.PDF>. Consultado 29/08/2013.

como a diferentes especies que son estratégicas para la supervivencia del ser humano, sumado al debate de Seguridad de Estado por la utilización de armas biológicas a nivel mundial que se consideraba una amenaza teórica en las guerras, hoy en día se han convertido en una realidad con potencial altamente destructivo para las poblaciones por los conflictos entre las naciones (Río, 2001; Ibáñez, 2005).

Por ende, el abrir la ventana al conocimiento oculto del DNA no sólo permite crear o mejorar armas biológicas, asimismo facilita manipular o jugar con los genes, diseñar a conveniencia estereotipos de nuevos humanos con genomas potenciales, crear súper humanos y/o nuevas especies; en conclusión, quienes tienen acceso y el conocimiento desde las ramas de la biología y la medicina a los componentes del DNA y RNA se podrían considerar a sí mismos como dioses.

Tal es el caso de una de las polémicas generadas en el año 2013, según la noticia difundida en el Diario la Nación de la República del Paraguay: «*Quince niños genéticamente modificados han nacido en los últimos tres años como resultado de un programa experimental en el Instituto de Medicina Reproductiva y Ciencia de San Bernabé, en Nueva Jersey, EEUU*». «*Confirman que han heredado el ADN de tres adultos— dos mujeres y un hombre. El hecho de que estos niños hayan heredado genes extra, y los han incorporado a su «línea germinal» significa que, a su vez, tienen la capacidad de transmitirlos a sus propios hijos*»³.

Por dichas razones, las familias del futuro querrán que sus hijos cuenten con características de prototipos de moda en su momento, por lo cual se buscará «la belleza» o características similares que evidencian la perfección desde la concepción humana, poniéndose en peligro la variabilidad genética de la especie, definiendo variabilidad genética como una medida de la tendencia de los genotipos de una población a diferenciarse.

En otras palabras, el fenotipo de un individuo es el resultado del genotipo de su potencial genético y el ambiente en que se desarrolla; el efecto del

ambiente sobre la variabilidad genética es importante en cuanto que esta representa la capacidad de una población para responder a la selección natural, como consecuencia, para evolucionar y adaptarse a nuevas condiciones. Es importante recordar que la respuesta de una población a la selección depende de la presencia de variabilidad genética aditiva para los caracteres relacionados con la eficacia biológica, pero cuando el ambiente varía, existe la posibilidad de que ocurran cambios en la expresión fenotípica de esa variabilidad (Pérez, 2009: 1).

Por ello, cuando la población busca mantenerse similar genéticamente por características supuestamente superiores, pueden incidir en que la variabilidad genética se pierda, incurriendo en una posible extinción del ser humano, por cualquier factor biótico o abiótico que afecte a la población en un momento dado y no se tenga respuesta de adaptabilidad; por ende, si Hitler hubiera logrado mantener la línea pura amparado por su legislación y su completa orden científica legal, encontrándose solo personas altas, piel blanca, de ojos claros, y el resto de personas en el mundo hubieran desaparecido, los humanos podrían haberse extinguido del planeta tierra (Navarro: 2009: 19).

Según Mawer (2003), amamos códigos, pues hay quienes han encontrado y descifrado los códigos de la Biblia, otros (o tal vez se trata de la misma gente) han armado códigos con base en mapas de estrellas con referente a la superficie de Marte; incluso otros hablan de códigos que reciben mensajes de los ovnis; pero el descifrar y entender el DNA, es tener el código de la vida, pues en sus bases nitrogenadas se encuentra el molde de la perfección.

De acuerdo con lo expuesto, el estudio de los genes no solo evalúa al *Homo sapiens*, permite saltarnos a otras especies y traer de ellas lo que necesitamos como especie en mejora de la calidad de vida del humano. Ejemplo de ello son los xenotrasplantes, que implican el trasplante de órganos entre especies distintas filogenéticamente, es decir, trasplantar órganos de especies animales al ser humano, de acuerdo a la filogenia de las especies (Ramírez: 2002: 222).

³ <http://www.lanacion.com.py/articulo/124345-con-polemica-nacen-los-primeros-bebes-transgenicos.html>. Accedido Octubre 16 del 2013.

Lo anterior trae consigo una paradoja o cuestionamiento, ya que para poder dar uso a miles de metodologías en pro de la vida del ser humano, hay que pasar por encima de otras especies que cohabitan con el hombre, inclusive experimentar con el mismo. Pero, dado el tema de trasplante de órganos como seguridad de la vida para pacientes, se abre otro margen de investigaciones desde la biotecnología y la ciencia misma, que a su vez se le debe dar control bioético y jurídico para evitar caer en maleficencia o intereses particulares, violando derechos humanos y dignidad de personas.

Trasplante de órganos, una alternativa de supervivencia

Desde siglos atrás las poblaciones han buscado la forma de reemplazar partes del cuerpo humano por otros componentes anatómicos que cumplan igual funcionalidad, el disponer de un componente anatómico conlleva un complejo procedimiento médico, social y psicológico, iniciando desde la selección del donante (Pérez: 1993: 241).

Moreno (2013) aduce que además *«se debe tener en cuenta un estudio histocompatible donante-receptor, una previa intervención quirúrgica en un lugar que cumpla con los requerimientos necesarios para realizar el trasplante, y un seguimiento a la respuesta del órgano trasplantado en el receptor como a la estabilidad total del donante»*. (p. 68)

Los dilemas bioéticos empiezan a surgir desde la búsqueda del donante, aunque las legislaciones a nivel mundial promueven la obtención de órganos de forma altruista por medio de estrategias de donación, estos procesos filantrópicos se han opacado debido a incentivos económicos financiados por instituciones y personas naturales que operan desde la ilegalidad (Tirado: 2011a: 11).

Hay fuertes acusaciones como la de Martin (1994), quien hace referencia a diferentes casos en donde se evidencia violación a los derechos humanos en torno al tráfico de órganos mostrando el siguiente caso:

«La asociación internacional de juristas demócratas (AIJD) informó en el mes de Agosto de 1988, a la Comisión de Derechos

Humanos de la ONU que había recogido en Haití una docena de testimonios confidenciales que consideraban probado el tráfico de niños para comercio de órganos mediante secuestros, falsas adopciones y operaciones de destaque en el extranjero. La agencia AFP facilitaba algunos detalles sobre el informe.» (p. 24)

Pese a que estas realidades sean consideradas mitos o historias urbanas, esta misma fuente cita a un ex ministro quien exigió el anonimato para denunciar

«la exportación de bebés a Francia: Algunos fueron utilizados en extracciones de médula espinal para sueros de rejuvenecimiento utilizados en cirugía estética. Aseguró además que entre 1978 y 1982 actuaba en Haití una banda de secuestradores, su negocio era la venta de órganos o el asunto de los seguros, la familia que adoptaba al niño le hacía un seguro y lo cobraba cuando el menor desaparecía.

Según la AIJD, el tráfico se organiza enviando los niños a Estados Unidos o Canadá con la apariencia de una adopción. Médicos haitianos entrevistados en Puerto Príncipe hablaron sobre una mafia que actuaba en Florida. Prometían una visa a cambio de un órgano en donde los niños podían ser las víctimas» (p. 24).

Por consiguiente, y pese a la renuencia de creer en esta posibilidad, actualmente es muy fácil tener contacto con un vendedor de órganos; se pueden encontrar infinidad de publicaciones en la web ofertando componentes anatómicos a distintos precios y en diferentes ciudades del mundo.

En la legislación Colombiana, la Ley 919 del 2004 Artículo 2°, acusa una pena de tres a seis años a quien realice publicidad sobre la necesidad de un órgano o sobre su disponibilidad, ofreciendo o buscando algún tipo de gratificación o remuneración; igualmente vincula: a quien trafique, compre, venda o comercialice componentes anatómicos humanos, incurrirá también en pena de tres a seis años de prisión.

Gracida (2008) define tráfico de órganos como la captación, recepción, movilización de órganos o componentes anatómicos, con su correspondiente entrega a terceros con factor económico y sin altruismo.

El hecho que exista compra venta de órganos entorpece los procesos de donación (Tirado, 2011b), por lo cual miles de personas a nivel mundial mueren en lista de espera; prevaleciendo una baja oferta y una mayor demanda de componentes anatómicos para trasplante, lo que se convierte en una gran falencia de los sistemas de salud y un potencial de oportunidades para quienes operan en la ilegalidad.

Según Moreno (2013) y Parrilla (2008), hay posiciones que abogan por la legalización de la compraventa de órganos, normalizando precios, lo que ocasionaría la finalización de las mafias y redes de tráfico acabando con la gran cantidad de violaciones a los derechos humanos.

La realidad es que acceder a un órgano si se cuenta con dinero no es dificultad alguna, ya que, así no sea histocompatible, puede saltarse las listas de espera; pues hoy en día la biotecnología puede modificar los niveles de histocompatibilidad, y dar soluciones entre donante-receptor en cuanto a la activación de respuesta inmune contra los órganos implantados.

Definiendo respuesta inmune como el mecanismo que desarrolla un organismo o hospedador para defenderse de agentes extraños, proteína, polisacárido o cualquier organismo que tenga acceso a las células del cuerpo (Cruz : 2001: 193), que en este caso es un tejido extraño que no hace parte del organismo en el que se implanta y que puede ser compatible con los tejidos receptores, pero, dado el caso en que los tejidos a implantar no cuenten con ningún grado de similitud, se puede disminuir o manipular la respuesta histocompatible por medio de técnicas de ingeniería genética, dando mayor probabilidad de vida al receptor.

Colombia ha dispuesto un sistema jurídico que fortalece la donación en el país e incentiva a la población a cooperar de forma segura y libre de toda presión o intento de maleficencia, para ello, ha reglamentado la siguiente normatividad: Ley 09 de 1979, Ley 73 de 1988,

Resolución 3199 de 1998, Resolución 3200 de 1998, Declaración de Bogotá de 2002, Ley 919 de 2004, Decreto 2493 de 2004, Resolución 2640 de 2005, Resolución 5108 de 2005, Acuerdo 140 de 2005, Acuerdo 419 de 2009, Acuerdo 363 de 2009, Acuerdo 369 de 2009, Resolución 1220 de 2010.

Pese a que todas las legislaciones a nivel interno e internacional, que buscan un gran apoyo a que las donaciones se hagan efectivas, existen obstáculos que no permiten que se lleve a cabo el proceso altruista de donación. Solar (2008) propone tres postulados que se enmarcan en los principales obstáculos en la existencia de donantes, uno de ellos es la influencia de la religión en la donación, en donde las determinadas costumbres limitan a los fieles tanto a recibir o entregar un componente anatómico.

El otro postulado es la organización del sistema de información y acercamiento al donante y su familia, mostrando la tendencia de mitos y creencias que opacan los sistemas de donación, generando ideas erróneas que influyen en la actitud y la perspectiva de las personas frente a la donación; el último postulado es la formación personal de los miembros del equipo de salud, influyendo en las posibles donaciones efectivas (Lozano: 2005: 78 & Tirado: 2011c: 60).

Con el fin de dilucidar los mitos en los procesos de donación y trasplante, diferentes instituciones interesadas en el bienestar social en alianza con la Organización de los Estados Iberoamericanos⁴, han aclarado dudas de la población objetivo, dando respuesta a cuestiones que preocupan a los posibles donantes en todo lo relacionado con los trasplantes y mitos, generando seguridad y confianza en el donador⁵.

En cuanto a donación después de la muerte o en presencia de muerte cerebral, sin ser un mito, la leyes colombianas, como algunas internacionales, optaron por el consentimiento presunto, significa que al no existir oposición alguna por parte de los familiares entre las 6 horas después de darse el veredicto muerte, y si el paciente en el derecho que tuvo de oponerse en vida no se manifestó en contra de la donación de órganos, se le da uso al cuerpo en totalidad de acuerdo a la labor social que cumple el cadáver.

⁴<http://www.oei.org.co/sii/entrega7/art01.htm>. Accedido Octubre 11 del 2013.

⁵<http://www.cydbank.org/legal/ley1172de1979.pdf>. Accedido Octubre 11 del 2013.

Muerte cerebral, un término acuñado a la obtención de órganos para trasplante.

Durante miles de años el ser humano se ha ocupado en tratar de detener el fenómeno de la muerte, y en busca de la eterna juventud nunca ha podido obtener la cura ni el elixir de la vida infinita, convirtiendo a la muerte en un hecho que afrontar. El cuándo termina de vivir un ser humano es un cuestionamiento que ha prevalecido con el correr de los años, ya que masivos errores de interpretación se han convertido en infinidad de entierros en vida.

Para saber cuándo concluye la vida, se entra a definiciones como la de «muerte cerebral» que es entendida como el cese completo de las funciones de los hemisferios cerebrales y del tronco encefálico, siendo esta situación irreversible (Montero: 2006: 26). Es necesario hacer explícito que cuando se habla de muerte cerebral se hace alusión a un solo órgano «cerebro» y no a un individuo en su totalidad, por ello, siempre se habla de necrosis de un órgano, y nunca se indica que exista un «hueso muerto» o un «riñón muerto», por lo cual, muerte es un término que involucra a un individuo en su totalidad y no a una de sus partes (Requeana: 2009: 129).

Según Bechi (2011) los donantes para trasplante de componentes anatómicos en estado de muerte cerebral se encuentran vivos, argumentando que no han cesado aun todas las funciones del encéfalo. De este modo, el paciente no debería considerarse muerto, y si las condiciones de diagnóstico no son las apropiadas no se debería pensar en una extracción de órganos, lo que implicaría en una actividad ilícita en contra de la dignidad y derechos humanos del paciente.

Para evidenciar lo expuesto anteriormente, se presenta el siguiente caso de una mujer de 19 años de edad cursando su primer embarazo intrauterino con diagnóstico de muerte cerebral, al continuar con su soporte vital dio luz a un feto muerto meses después (Hurtado: 2007: 503).

Es incomprensible que el cadáver de una mujer muerta, pueda llevar a cabo un embarazo y traer al mundo un niño en condición de vivo, o abortar un

feto en condición de muerto. Aunque es exactamente lo que se pretende por parte de médicos y legisladores, pues no hay forma alguna de afirmar que están vivos, ya que si se llegara a una excepción se tendría que reconocer que a los pacientes que se les extraen los órganos en situación de muerte encefálica no son cadáveres (Moreno, 2012).

Por todo esto, se hace importante que la población que directamente está relacionada con el tema de muerte cerebral y trasplante de órganos, esté informada y posea conocimiento sobre los principales dilemas bioéticos que pueden generarse al respecto, entre los cuales se tienen: encarnizamiento terapéutico, eutanasia pasiva, eutanasia activa, suicidio asistido y ortotanasia.

Los problemas ético-médicos que suscita la donación de órganos cadavéricos, están relacionados con el concepto de muerte, de si ésta es considerada como muerte cerebral o cardiovascular, y respecto del avance científico para su determinación precisa, frente a lo cual existen serios debates. Estos planteamientos demuestran que la donación de órganos no constituye una cuestión ética y jurídicamente neutra, ya que implica complejas y difíciles decisiones y discusiones morales, filosóficas, religiosas, sociológicas y antropológicas que suscitan agudas controversias en el contexto del debate y discusión contemporánea⁶.

Queda por aclarar que la ciencia genera grandes adelantos en pro de la vida y beneficio de la salud humana, pero asaltan grandes incertidumbres que pronto serán debates de discusión desde las ciencias humanas y la bioética, como el hipotético caso de obtener órganos provenientes de humanos a partir de potenciales humanos creados por reproducción asistida y manipulados genéticamente para que nazcan en estado de muerte cerebral y disminuir listas espera.

Reproducción asistida, un avance científico a favor o en contra de la humanidad.

Tener hijos siempre ha sido el deseo de la mayoría de los pobladores de la tierra, continuar como especie y dejar un heredero es la noción de los seres

⁶ <http://www.acj.org.co/sentencias/c-933-07.htm>. Accedido el 4 de septiembre del 2013.

vivos, aunque la selección natural dentro de sus mecanismos de evolución no permite que algunos individuos puedan tener hijos por determinadas mutaciones genéticas.

Hoy en día los planteamientos evolutivos y debates entre Darwin y Lamarck dejan de plano, una necesaria revisión a estos postulados, toda vez que el más débil se puede reproducir y subsistir en el tiempo, pues gracias a la investigación científica, el no poder tener hijos y prolongar la vida es cosa del pasado; anteriormente las enfermedades hereditarias y síndromes específicos se tomaban como una fatalidad incurable, sin embargo, en la actualidad se pueden tratar enfermedades con alto componente genético y darles posibles soluciones (Valenzuela, 2003: 131; Ginnobili, 2009: 3).

De acuerdo a dogmas culturales, si la pareja no podía tener hijos se les rechazaba socialmente, señalando especialmente a la mujer. Dada la angustia y necesidad de la población por sentirse bien social y psicológicamente, se dio origen a la investigación y mejoramiento de técnicas de reproducción asistida como estrategia de bienestar para las clases sociales (Riaño: 2004: 185).

Entendiéndose por reproducción asistida como técnicas que tienen por finalidad la actuación médica ante la esterilidad humana para facilitar la procreación humana asistida en forma extracorpórea, donde el momento de la fecundación ocurre fuera del tracto del sistema reproductor femenino, dando lugar a la producción de embriones humanos⁷.

Al hablar de embriones humanos es necesario recurrir al planteamiento de Calcagno (2003), quien manifiesta que en las técnicas de fertilización se procede a la fecundación de varios embriones, ya que el porcentaje de embarazo puede ser muy bajo, estimándose de 1 a 2 por cada 10; por esto, para garantizar el éxito del procedimiento se hace una provisión de varios embriones para poder repetir el intento en caso de fracaso. Sin embargo, independientemente de la cantidad de óvulos fecundados, se transfieren los embriones sugeridos

por la pareja o madre soltera, por lo cual los sobrantes se someten a congelación ya sea para el mismo usuario o para fines de investigación.

El debate gira en torno a que si un embrión es un humano potencial, ¿por qué experimentar con él o por qué desecharlo? y si se experimenta y se manipula a conveniencia, ¿quién es el responsable del posible humano obtenido con características distintivas por malformaciones genotípicas y fenotípicas?

La realidad es que la investigación con embriones en medicina reparadora y regenerativa se considera un diamante en bruto en que trabajan miles de investigadores por todo el mundo; con dichas investigaciones se abren nuevos horizontes para dar cura a enfermedades que hasta el presente habían sido incurables, siendo el preámbulo como instrumento clave en mejorar la calidad y expectativa de vida de los ciudadanos, lo que conlleva hipotéticamente a aumentar su bienestar (Zurriarán: 2008: 16).

Se diría que, claramente, de los embriones se obtienen células madre pluripotentes, las cuales tienen el potencial de convertirse en cualquier tipo de célula adulta, por lo cual bajo previo control en el laboratorio se podrían convertir en órganos o tejidos potenciales para trasplante, aliviando las listas de espera (Kaji: 2006: 285). Pero de igual forma se vulneraría la dignidad humana desde su concepción por intereses particulares de investigación.

Experimentación con seres humanos

Dado que desde la investigación con embriones se está incurriendo en experimentación con el ser humano, y que es viable jurídicamente en casi todos los países del mundo hasta los 14 días de desarrollo embrionario⁸, de igual forma en la actualidad se está apoyando las investigaciones con fines de un mayor desarrollo biotecnológico embrionario a favor del hombre, pese a existencia de una gran oposición por científicos y por comunidad en general.

Para evidenciar lo dicho, el ex presidente Clinton de los Estados Unidos de América firmó una ley en 1995 que prohíbe la financiación federal para la

⁷ http://servoaspr.imprenta.gov.co:7778/gacetap/gaceta.mostrar_documento?p_tipo=05&p_numero=148&p_consec=30940 Accedido octubre 21 del 2013.

⁸ <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/lecciones/Foros/Clonacion2.html>. Accedido octubre 21 del 2013.

investigación que destruya embriones humanos, además prohibía los investigadores apoyados por EE.UU en relación con estos temas en Institutos Nacionales de Salud (NIH); en marzo de 2009, el presidente Obama emitió una orden ejecutiva que pretende impulsar la investigación de células madre embrionarias humanas (HES). A pesar de este anuncio, el apoyo federal y la financiación de los estudios con células HES han sido bajas, pues las políticas federales en continua evolución han obstaculizado los esfuerzos de investigación; a diferencia de China, Japón y algunos países europeos, especialmente Bélgica y Suecia, que sí cuentan con políticas liberales de manera similar con respecto a la creación de nuevas líneas de investigación en células HES (Jour: 2010: 627).

La experimentación con humanos no es nueva, se mencionan escritos de filósofos y pensadores que antes de Cristo se abrían las personas vivas para estudiar el funcionamiento de su cuerpo y tomar decisiones médicas con futuros pacientes. El problema ético en la investigación en humanos, se inicia cuando la persona se toma en un laboratorio viviente que recibe una información incompleta, no comprensible para ella o que por su situación social, económica o mental favorece que se convierta en un candidato especial para experimentos (Esquivel: 2002: 157).

Teniendo en cuenta que la investigación científica puede salirse de los márgenes establecidos y se le da relevancia por sus repercusiones directas en la vida humana, se han establecido directrices internacionales con el objeto de prevenir y controlar los posibles abusos en la investigación citados por Olivero (2008): El Código de Nuremberg (1946), los códigos y declaraciones de Helsinki (1964), Tokio (1975), el documento elaborado por la Comisión Nacional para la Protección de Sujetos Humanos en Investigaciones Biomédicas y de la Conducta, o Informe Belmont (1979), el producido en Manila (1981), los del Consejo de Organizaciones Internacionales de Ciencias Médicas –CIOMS- hasta 2002 y el de las Recomendaciones Internacionales para la Revisión Ética de los Estudios Epidemiológicos, publicadas en 1991.

También el Informe sobre la Ética de la Investigación Relativa al Cuidado de la Salud en Países en Desarrollo, publicado por el *Nuffield Council on Bioethics* en 2002. Además de las legislaciones propias de cada país, establecidas para la investigación científica en humanos.

Para poder llegar a la normatividad se pasó por algunos experimentos que marcaron la historia, vulnerando cualquier derecho humano, algunos de estos experimentos fueron: investigación de tratamientos médicos de heridas de guerra. Se ocasionaban heridas en las que se introducía virutas y cristales, sobre infectándolas con *Streptococcus* sp., *Clostridium perfringens* o *Clostridium tetani* y se trataban con sulfamidas para comprobar su eficacia. Al igual se causaba heridas con gases o con fósforo para estudiar su evolución (Sierra: 2011: 396).

Por su parte, Sierra (2011), también aduce sobre estudios de sobrevivencia, en el cual se calculaba cuántos días se podía resistir bebiendo sólo agua de mar, en cuánto tiempo se congelaba un hombre, la eficacia de venenos orales y balas envenenadas, la inoculación de enfermedades transmisibles como la fiebre amarilla, viruela, tifus, paratífus A y B, cólera y difteria (Baumslag: 2005: 123).

Es indudable que la investigación científica representa un beneficio para la humanidad, sin embargo, los avances en muchas ocasiones superan la regulación jurídica de sus estudios. Por otra parte, se refleja que las poblaciones marginadas ubicadas en países pobres son los principales blancos de investigación, y los resultados de las investigaciones, en concordancia también son inequitativos, convirtiéndose en medicinas o procedimientos que llegaran a sectores económicamente más desarrollados (Litewka: 2006: 131).

Es evidente que la experimentación con humanos se requiere para evaluar su evolución ante diferentes condiciones investigativas, es necesario experimentar para poder dar resultados concretos frente algunos estudios que generen curas contra enfermedades, que generen mejor calidad de vida, que establezcan normatividades y principios estructurales para estudios más avanzados.

Conclusiones

La investigación científica no se puede parar, es una estrategia de supervivencia que no solo concierne al ser humano, también involucra el entorno en que este se encuentra, es la base estructural para que pueda existir un desarrollo en todos sus esquemas, ya sea social, económico y ambiental. En cuanto a la investigación en el hombre mismo, se deben regular sus alcances, pues no se puede dar libre albedrío a la creatividad, ya que el hombre no debe destruirse y causarse daño así mismo como a los demás.

Los avances científicos hoy en día permiten vulnerar gran cantidad de derechos humanos, la ciencia es inequitativa, no todos pueden acceder a ella y en muchos casos esta toma gran importancia sobre su abuso en aquellos que se encuentran en situaciones más vulnerables, como partida para el desarrollo de resultados investigativos que contribuyen a un desarrollo humano de todos, pero que denigra y margina a otros.

La biotecnología avanza cada día y en cuanto a la ciencia jurídica en concreto, se quedará atrasada si no evoluciona a la par de las nuevas tecnologías. Sin embargo, en el caso de la problemática que nos ocupa, se evidencia que el Derecho no solo debe aprovechar la tecnología para su propio desarrollo, sino que tiene una enorme responsabilidad frente al desarrollo biotecnológico desde varios puntos de vista: debe permitir la mayor libertad de investigación posible para la evolución científica, al igual que debe ocuparse de la gestión de un modo adecuado de investigación y experimentación, que garantice la no transgresión a la integridad y dignidad del ser humano, y que a su vez permita mediar la existencia los desarrollos bioéticos y la investigación de la vida en todas sus formas dentro el ambiente que regula.

Referencias bibliográficas

- ANA, D. (2009). *AND (ácido desoxirribonucleico)*. El Cid Editor. Argentina. p. 4.
- BAUMSLAG, N. (2005). *Murderous Medicine: Nazi Doctors, Human Experimentation, and Typhus*. Praeger Publishers. p. 123.
- BECHI, P. (2011). *Muerte cerebral y trasplante de órganos. Un problema de ética jurídica*. Editorial Trotta, S. A. Madrid. Traducción de Erica Frontini y Álvaro Núñez Vaquero.
- BORILLO, D. (1996). *Genes en el Estrado*. Raycar. S. A. Madrid. p. 133.
- CALCAGNO, C. (2003). *Las tesinas de Belgrano*. Facultad de Derecho y Ciencias Sociales. Universidad de Belgrano. p. 27.
- CEGARRA, J. (2011). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid. p. 41.
- CRUZ, A. B, Camargo. (2001). *Glosario de términos en parasitología y ciencias afines*. Instituto de Biología UNAM. Editorial Plaza y Valdez, S.A.
- ELDORADO, D. (2009). *Ingeniería genética o biotecnología*. El Cid Editor. Argentina. p. 8.
- ESQUIVEL, J. 2002. Bioética en la experimentación con seres humanos. Universidad Nacional de Costa Rica. En: *Ensayos pedagógicos*, 1(1): 157.
- FRÍAS, G. S, Hierro. J, Jiménez. 2007. Farmacogenómica y sus aplicaciones clínicas. *Revista Dermatología*. 3: 99.
- GRACIDA, C. J, Alberú. 2008. Sobre el tráfico de órganos y el turismo de trasplantes. La Declaración de Estambul. *Rev. Med. Inst. Mex.* 46(6): 625-630.
- GINNOBILI, S. (2009). «Adaptación y función, el papel de los conceptos funcionales en la teoría de la selección natural Darwiniana». Universidad Nacional de Quilmes. En: *Rev Ludus Vitalis*, 23(31): 3.
- HURTADO, G. (2007). «Apoyo nutricio en una mujer embarazada y con muerte cerebral. Informe de un caso y revisión de la literatura». Grupo Aula Médica. España. En: *Revista Nutrición Hospitalaria*, 22: 503.
- IBÁÑEZ, I. (2005). *Bioterrorismo: La Amenaza Latente*. Instituto de Estudios Europeos de la Universidad San Pablo-CEU. Madrid España. pp. 1-78.
- JOUR, Y. (2010). *Human embryonic stem cell research in the US: time for change?* Nature Publishing Group, a division of Macmillan Publishers Limited. p. 627.
- KAJI, K. I, Martin. (2006). *The NuRD component Mbd3 is required for pluripotency of embryonic stem cells*. Nature Cell Biology. p. 285.
- LITEWKA, S. (2006). «Planeación ética de los experimentos con seres humanos». Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. En: *Revista colombiana de Bioética*, 1(1): 131.
- LOZANO, G. S, Liberman. P, Andrade. (2005). «Conocimientos y creencias acerca de la donación de órganos y tejidos en la ciudad de México». Universidad Veracruzana Xalapa. *En Revista: Psicología y Salud*. p 78.
- MARTÍN, J. (1994). *Niños de repuesto tráfico de menores y comercio de órganos*. Editorial Complutense. Madrid. España. p 24.
- MONTERO, R. R, Guillén. (2006). *Tratado de trasplante de órganos*. Editorial Arán. Madrid. España. p 26.
- MORENO, A. (2012). *Informe proyecto Hum: 740, Trasplante de órganos, Bioética y legislación comparada*. Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. Trabajo de Grado para optar el título de Biólogo.
- MORENO, A. (2013). Bioderecho y trasplante de órganos, muerte cerebral. Universidad Santo Tomás. Bogotá. En: *Revista IUSTA*. No. 38. Bogotá, Colombia. pp. 57-80
- NARANJO, G. (2006). «Implicaciones jurídicas de la investigación en genética Humana». Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín. En: *Rev. Facultad de Derecho y Ciencias Políticas*. 36(105): 437.
- NAVARRO, D. (2009). *El programa de eutanasia de Hitler: Lógica científica y la regulación legal de lo atroz*. Universidad de Toledo. España. En: *Revista jurídica de Toledo*. V14. p. 19
- OLIVERO, R. (2008). *Principios bioéticos aplicados a la investigación epidemiológica*. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Carabobo, Venezuela. p. 91.
- PARRILLA, P. P, Ramírez. A, Ríos. (2008). *Manual sobre donación y trasplante de órganos*. Región de Murcia Consejería de Sanidad. Coordinadora regional de Trasplantes. Editorial Arán Ediciones. Madrid, España.

- PÉREZ, A. (2009). *Densidad de población y selección artificial para producción de biomasa en Drosophyla melanogaster*. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela. España
- PÉREZ, M. J, Domínguez, F, Murillo, N, Roldán. (1993). «Factores sociales y psicológicos que influyen en la donación de órganos». Hospital Virgen del Rocío. Sevilla. En: *Rev Psicothema*, 5(2): 241.
- RAMÍREZ, P. A, Ríos, J, Yelamos. (2002). *Estado actual del xenotrasplante de órganos*. Circulo de especialistas. Departamento de Cirugía. Unidad de Trasplantes. Hospital Universitario Virgen de la Arrixaca. Murcia. p. 222
- REQUENA, P. (2009) «El Diagnostico de muerte cerebral». Universidad de la sabana. Bogotá. En: *Revista: Persona y Bioética*, 13: 129.
- RIAÑO, I. P, Núñez. (2004). «Mesa Redonda: Coordinación interdisciplinaria de la atención al recién nacido de alto riesgo. Propuestas de actuación. Técnicas de reproducción asistida. Dilemas éticos». En: *Boletín de la Sociedad de Pediatría de Asturias, Cantabria, Castilla y León*. Vol. 44. España. p 185.
- SANTOS, M. (2004). *Aspectos Bioéticos del consejo genético en la era del proyecto del genoma humano*. Departamento de biología celular y molecular. Universidad Católica de Chile. Chile. p 191.
- SIERRA, X. (2011). Ethics in Medical Research in Humans: A Historical Perspective. *Actas Dermosifiligr*. V 102. No 6. p 396.
- TIRADO, M. (2011a). «Legislación en materia de donación y trasplante de órganos. Aspectos legislativos y bioéticos en el marco del Derecho Comparado». En: Guerra, Y. Tirado, M. Márquez, A. (2012) *Trasplante de Órganos, Bioética y Legislación Comparada*. Universidad Militar Nueva Granada – Ed. Periódicas. pp. 107-134. Versión preliminar.
- TIRADO, M. (2011b). «¿Por qué en Colombia no está generalizada la práctica de la donación de órganos? Una mirada desde la bioética». En: *Revista Latinoamericana de Bioética*, 11(1): 56-67
- TIRADO, M. (2011c) «Aproximación desde la Sociología Jurídica a Dilemas de la Bioética Contemporánea: «Muertos Con Corazón Vivientes». En: *Revista Brasileira de Bioética* 7(1-4): 6-21.
- TIRADO, M. et al. (2011) *La investigación jurídica y socio – jurídica: precisiones y claves*. Facultad de Derecho. Universidad Militar Nueva Granada- Editorial Periódicas.
- TOMAS, G. (2009). *Los bebés medicamento y su eticidad*. Asociación española de farmacéuticos católicos. Madrid España. p. 4.
- RIO, C. C, Franco. (2001). Bioterrorismo: un nuevo problema de salud pública. En: *Revista Salud Pública de México*, 43(6): 585.
- VALENZUELA, C. (2003). «Ética científica de la terapia génica de individuos. Urgencia de la cirugía génica del ADN». En: *Rev Médica Chile*, 131(10): 131.
- VAN RENNELAER, P. (1971). «Bioethics: Bridge to the future». Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- VAN RENNELAER, P. (1998). «Bioética puente, bioética global y bioética profunda» En *Cuadernos del Programa Regional de Bioética*. Organización Panamericana de la Salud
- ZURRIARIAN, R. (2008). «El utilitarismo ético en la investigación biomédica con embriones humanos». Universidad de la Sabana. Bogotá. En: *Revista Persona y Bioética*, 12(1): 16.

Referencias tomadas de internet:

- <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r46261.PDF> Consultado 29/08/2013
- <http://www.lanacion.com.py/articulo/124345-con-polemica-nacen-los-primeros-bebes-transgenicos.html> Accedido Octubre 16 del 2013.
- <http://www.oei.org.co/sii/entrega7/art01.htm> Accedido Octubre 11 del 2013.
- <http://www.cydbank.org/legal/ley1172de1979.pdf> Accedido Octubre 11 del 2013.
- <http://www.acj.org.co/sentencias/c-933-07.htm> Accedido el 4 de septiembre del 2013.
- http://servoaspr.imprenta.gov.co:7778/gacetap/gaceta.mostrar_documento?p_tipo=05&p_numero=148&p_consec=30940 Accedido octubre 21 del 2013.
- <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/lecciones/Foros/Clonacion2.html> Accedido octubre 21 del 2013. 

Este artículo es citado así:

Striedinger, M. P. 2015. La bioética y los avances científicos. *TECNOCENCIA Chihuahua* 9(3): 129-139.

Resumen curricular de la autora

MARTHA PATRICIA STRIEDINGER MELÉNDEZ. Administradora de Hotelería y Turismo de la Universidad Externado de Colombia, Especialista en Mercadeo de la Universidad de los Andes, Magíster en Mercadeo Agroindustrial de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Master Executive en Gestión de Marketing de la EOI de España. El presente artículo es resultado de la investigación en el Doctorado en Bioética en la Universidad Militar Nueva Granada en Bogotá (Colombia).

Tasa de fertilización, desarrollo y calidad de embriones bovinos Holstein producidos *in vitro* con semen sexado y adición de IGF-I

Fertilization rate, development and quality of Holstein bovine embryos produced *in vitro* with sexed semen and addition of IGF-I

OCTAVIO MARTÍNEZ-GUERRERO¹, JAVIER ANTILLÓN-RUIZ^{1,2}, FELIPE ALONSO RODRÍGUEZ-ALMEIDA¹

Recibido: Noviembre 19, 2015

Aceptado: Marzo 15, 2016

Resumen

La adición de IGF-I a los medios de fertilización *in vitro* y cultivo de embriones ha sido propuesta como una forma de imitar las señales maternas de la gestación temprana en el útero. El objetivo del presente estudio fue evaluar la adición del factor de crecimiento similar a la insulina tipo-I (IGF-I) sobre la tasa de fertilización con semen sexado (SS) y de blastocistos bovinos producidos *in vitro*, así como la calidad embrionaria. Se utilizó SS de tres toros Holstein para la fertilización *in vitro* (FIV) de ovocitos obtenidos de ovarios recolectados en rastro, para lo cual se agregó IGF-I (100 ng/ml) en los medios de fertilización y desarrollo embrionario a diferentes tiempos: T1 (IGF-I, d 0-7; n= 393); T2 (IGF-I, d 0-3; n= 394); T3 (IGF-I, d 3-7; n= 394); y T4 (sin IGF-I o grupo control; n= 394). Se evaluó el porcentaje de fertilización al día tres de incubación y el día siete se evaluó la calidad y estadio de los blastocistos. Los datos se analizaron con el procedimiento CATMOD de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC), ajustando un modelo que incluyó el efecto de tratamiento (con y sin IGF-I, para tasa de fertilización; y T1, T2, T3 y T4 para otras variables). La adición de IGF-I al medio afectó la tasa de fertilización (34 vs 42%; $P < 0.05$) y no hubo efecto ($P > 0.05$) de tratamiento para la tasa de blastocistos/ovocitos fertilizados, ni para calidad de los blastocistos. Se concluye que bajo las condiciones del presente estudio, la adición de IGF-I a los medios de fertilización y cultivo *in vitro* no tiene un efecto benéfico para la producción de embriones, pero sí afecta la fertilidad del semen sexado.

Palabras clave: IGF-I, embriones, fertilización *in vitro*, semen sexado.

Abstract

The addition of IGF-I to the *in vitro* fertilization and embryo culture media has been suggested as a means to imitate maternal signals during early gestation in the uterus. The aim of the present study was to evaluate the addition of insulin-like growth factor I (IGF-I) on the fertilization rate with sexed semen (SS) and bovine blastocysts produced *in vitro* as well as the embryo quality. Semen used was from three Holstein bulls for *in vitro* fertilization and oocytes were obtained from ovaries collected on a slaughterhouse. For which IGF-I (100 ng/ml) was added in the means of fertilization and embryo development at different times: T1 (IGF-I, d 0-7; n= 393); T2 (IGF-I, d 0-3; n= 394); T3 (IGF-I, d 3-7; n= 394); and T4 (without IGF-I or control group; n= 394). Fertilization rate was evaluated at day 3 of incubation, and at day 7, blastocysts quality and stage were assessed. Data were analyzed with CATMOD of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC), adjusting a model including the effect of treatment (with and without IGF-I, for fertilization rate; and T1, T2, T3 and T4, for other variables). The addition of IGF-I to the media affected the fertilization rate (34 vs 42%; $P < 0.05$) and there was not effect ($P > 0.05$) of treatment for the rate blastocysts/fertilized oocytes fertilized or for the quality of blastocysts. It is concluded that under the conditions of this study, with the use of sexed semen, the addition of IGF-I to the media of fertilization and culture *in vitro* does not have a beneficial effect on the production of embryos, but it does affect the fertility of the sexed semen.

Keywords: IGF-I, embryo, *in vitro* fertilization, sexed semen.

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

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

Introducción

En los establos lecheros, la obtención de crías hembras es prioridad respecto a los machos, dado el objetivo de la producción de leche. El uso de semen sexado (SS) es una alternativa disponible para tal fin; sin embargo, la fertilidad de dicho semen es menor (20 - 40%) al no sexado cuando se utiliza mediante inseminación artificial (IA); Seidel Jr. *et al.*, 1999). Afortunadamente, la producción in vitro (PIV) de embriones es una forma eficiente de utilizar el SS para lograr más embriones hembra (Rasmussen *et al.*, 2013).

En diversos estudios (Tonello *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2009) se reportan tasas de blastocistos producidos *in vitro* mediante el uso de SS superiores al 30%. No obstante, la calidad de dichos embriones es inferior a la de los embriones producidos *in vivo*, en términos de morfología, metabolismo, expresión génica y criotolerancia (Rizos *et al.*, 2008). Mediante la PIV, alrededor de 90% de los ovocitos maduran, mientras que 80% logra la fertilización y segmentación; sin embargo, únicamente 30 a 40% de los ovocitos inmaduros se convierten en blastocistos a los 7 a 8 d pos-fertilización (Lonergan, 2007). Así mismo, cuando la PIV de embriones se hace con SS (Cran *et al.*, 1993), la tasa de éxito es menor que cuando se usa semen convencional (Xu *et al.*, 2009). Además, hay reportes que indican que los embriones PIV con SS disminuyen su competencia para lograr una gestación debido a alteraciones tanto ultraestructurales (Palma *et al.*, 2008) como del RNAm en genes importantes para su desarrollo, como los que intervienen en la glucólisis (Morton *et al.*, 2007); aunque previamente Xu *et al.* (2006) indicaron que no había diferencia en la tasa de gestación obtenida con embriones PIV con SS y semen no sexado.

Una forma de optimizar la PIV de embriones es imitando las señales maternas de la gestación a través del medio de cultivo embrionario (Gopichandran y Leese, 2006; Vajta *et al.*, 2008). Esto puede lograrse a través de factores como IGF-I (Lima *et al.*, 2006; Loureiro *et al.*, 2009), cuya expresión se ha observado en útero, oviducto y en el mismo embrión (Velázquez *et al.*, 2008). Bonilla *et al.* (2011a)

demonstraron que su adición en la PIV de embriones incrementa la tasa de ovocitos que se convierten en blastocistos, lo cual se atribuye a sus propiedades anti-estrés (Jousan y Hansen, 2007) y antioxidantes (Bonilla *et al.*, 2011b). Sin embargo, se desconoce su efecto en embriones generados con SS, por lo que, el objetivo del presente estudio fue evaluar las tasas de fertilización de ovocitos, porcentaje de blastocistos y calidad de embriones de bovino PIV utilizando SS y agregando IGF-I a los medios de cultivo.

Materiales y métodos

Producción de embriones in vitro

Preparación del IGF-I.

Se preparó la solución stock para IGF-I recombinante humano (Sigma, I1271) con 1 mg/ml añadiendo 10 mM de HCL (ácido clorhídrico). Se almacenó a -20 °C en alícuotas de 10 µl. La concentración de IGF-I adicionada en los medios de fertilización y desarrollo embrionario (100 ng/ml) se basó de los valores encontrados en sangre de vacas lecheras (Falkenberg *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2010) y estudios *in vitro* realizados por Bonilla *et al.* (2011a).

Colección y maduración de ovocitos.

Se usaron ovarios de vacas Holstein colectados de un rastro tipo inspección federal (TIF), los cuales fueron transportados al laboratorio en solución salina estéril (0.15 M) a temperatura ambiente. Los complejos *ovocito-cúmulus* (COCs) fueron aspirados de folículos antrales de 2 a 8 mm de diámetro; se seleccionaron ovocitos con más de tres capas

de células cumulares compactas y citoplasma homogéneamente granuloso. Los COCs se lavaron en medio químicamente definido (CDM, por sus siglas en inglés), amortiguado con Hepes y luego con medio de maduración (CDM-M; De la Torre-Sánchez *et al.*, 2006). Cincuenta COCs fueron madurados en platos de cuatro pocillos (Nunclon, Roskilde, Denmark), conteniendo 1 ml de CDM-M con 0.5% FAF-BSA (Sigma, A-6003), 15 ng/ml de FSH (NIH-FSH-S17; NIH, Bethesda, MD), 2 µg/ml de estradiol-17β (Sigma, E-2257), 50 ng/ml EGF (Sigma, E-9644) y 0.1 mM cisteamina. Finalmente, estos fueron incubados a 38.5 °C con 5% de CO₂ en aire por 23 h.

Preparación del semen sexado.

Se utilizó semen de 3 sementales Holstein para este estudio. Las pajillas (0.25 ml) contenían ~2 x 10⁶ de células espermáticas y se descongelaron en baño maría a 35 °C por 30 s. Posteriormente, se vertió en la parte superior de un gradiente de Percoll (P-1644, Sigma) con 2 ml al 90% y 2 ml al 45% en medio Sperm-TALP (Tryode's modificado; Parrish *et al.*, 1989), para ser centrifugado por 20 min a 1300 rpm. El pellet espermático (50 µl de SS) resultante fue lavado con 4.5 ml de medio para fertilización (F-CDM; De La Torre-Sánchez *et al.*, 2006) suplementado con 0.5% BSA, 5 mM cafeína (C-0750, Sigma) y 2 µg/ml de heparina (H-3125, Sigma). La muestra fue centrifugada nuevamente por 5 min a 1300 rpm y el sobrenadante fue descartado, quedando aproximadamente 50 µl de SS; se tomó una muestra de 2 µl para determinar la concentración espermática con la cámara de Neubauer. La concentración final fue de 4x10⁶ espermatozoides/ml.

Fertilización in vitro.

El total de COCs madurados se dividió en dos tratamientos (IGF-1 y control). Posteriormente, en grupos de 30, los COCs fueron adicionados en microgotas de 55 ml con medio F-CDM o F-CDM/IGF-1 (100 ng/ml de IGF-I) y cubiertas con aceite mineral en una caja de petri. Después, se adicionaron 20 ml de la

suspensión espermática, con una concentración final de 4 x 10⁶ espermatozoides/ml. Los gametos fueron co-incubados durante la noche (18 ± 1 h) a 38.5 °C con 5% de CO₂ en aire. Posteriormente, los COCs fueron vigorosamente agitados en un volumen de 100 ml de medio por 1 min para remover las células cumulares.

Cultivo in vitro de embriones.

Los presuntos cigotos fueron enjuagados en H-CDM-1 (Hepes CDM + Aminoácidos no esenciales, 10 mM EDTA, 0.5% FAF – BSA, 0.5 mM fructosa) y cultivados en CDM-1 ó CDM-1/IGF-1 (100 ng/ml de IGF-1) por 56 h en 5% CO₂, 5% O₂, 90% N₂ a 38.5 °C. Después de 56 a 60 h, los embriones de más de ocho células se enjuagaron en H-CDM-2 (Hepes CDM-1 sin EDTA pero con aminoácidos esenciales y no esenciales y 2 mM de fructosa). Finalmente, se cultivaron en CDM-2 o CDM-2/IGF-1 (100 ng/ml de IGF-1) por 4 d.

Evaluación de embriones.

Al día tres, solo embriones de ocho o más células se siguieron cultivando, los demás se descartaron. Para blastocistos, el día siete se evaluó la calidad y estadio embrionario en base al código de la Sociedad Internacional de Transferencia de Embriones (IETS, 1998).

Diseño experimental.

Se realizaron 8 corridas (repeticiones) de PIV de embriones en las que se evaluó el efecto de la adición del IGF-I sobre la tasa de FIV con SS, la producción de blastocistos y su calidad. Para las variables de producción de blastocistos y su calidad, se tuvieron cuatro tratamientos de acuerdo al día de desarrollo embrionario en que se adicionó el IGF-I: T1 (IGF-I, 0-7 d; n= 393); T2 (IGF-I, 0-3 d; n= 394); T3 (IGF-I, 3-7 d; n=394) y T4 (sin IGF-I o grupo control; n= 394). Para este estudio se utilizaron un total de 1,575 ovocitos distribuidos entre los cuatro tratamientos descritos con anterioridad.

Análisis estadístico.

Los datos para porcentaje de fertilización, blastocistos y calidad de los mismos, fueron

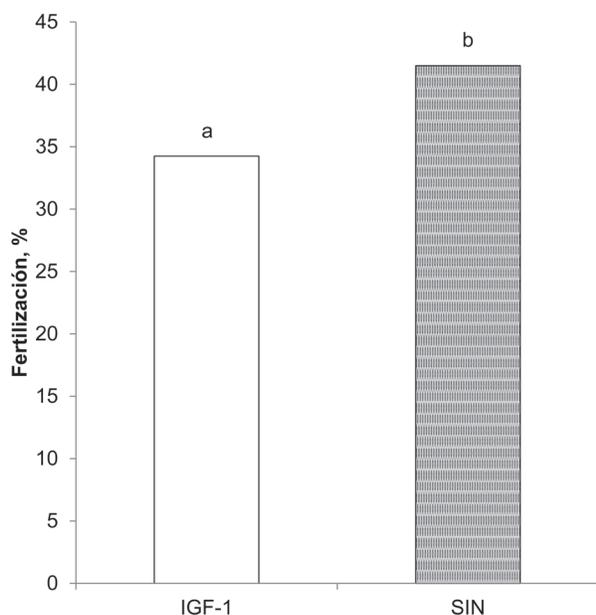
analizados mediante técnicas de análisis de datos categóricos con el procedimiento CATMOD de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). El modelo ajustado incluyó los factores de tratamiento (con y sin IGF-I, para tasa de fertilización; y T1, T2, T3 y T4, para las otras variables). El efecto de semental no fue evaluado debido a la poca disponibilidad de semen que impidió se usaran los tres toros para la fertilización in vitro en cada corrida.

Resultados y discusión

Producción de embriones in vitro.

Evaluación de la tasa de fertilización. De acuerdo al análisis realizado, el tratamiento con IGF-I (34.3%) afectó la tasa de fertilización ($P < 0.05$) en comparación con el grupo sin IGF-I (41.5%) al momento de la FIV (Figura 1).

Figura 1. Tasa de fertilización por tratamiento (IGF-1, adicionado con 100 ng/ml; SIN, grupo control).



^{a,b} Literales diferentes entre tratamientos denotan diferencia estadística ($P < 0.05$).

La concentración del IGF-I en plasma seminal bovino es de 116 a 144 ng/ml (Henricks *et al.*, 1998; Hoeflich *et al.*, 1999). La baja calidad seminal encontrada en toros con

deficiente desempeño reproductivo es asociada con niveles significativamente anormales (194 ± 26 ng/ml) (Hoeflich *et al.*, 1999). Estos hallazgos sugieren que el IGF-I puede regular la función del espermatozoide al momento de la fertilización (Selvaraju *et al.*, 2009). Sin embargo, su funcionalidad depende de la presencia del receptor (IGF-IR) en el acrosoma y de proteínas de enlace (IGFBPs), las cuales no están disponibles en los sistemas *in vitro*, con lo cual se estima que la ausencia de dichas proteínas limitó la capacidad fertilizante de los espermatozoides al momento de la fecundación, ya que en condiciones *in vivo* los eventos de pre-fertilización en el aparato reproductivo de la hembra están regulados por una interacción entre IGF-I oviductual y los receptores del IGF-I en el acrosoma del espermatozoide (Suarez, 1997). Así lo indicaron Mahmoud y Parrish (1996), quienes reportaron que los factores solubles oviductuales mejoran la capacitación del espermatozoide bovino; por lo tanto, el IGF-I en el aparato reproductivo de la hembra interviene en el desempeño espermático al momento de fertilizar el ovocito y en lograr la fertilización.

Existen diversas diferencias entre toros sobre la habilidad de los espermatozoides para fertilizar ovocitos a través de FIV (Shi *et al.*, 1990; Lonergan, 1994). Como se discutió anteriormente, toros con baja fertilidad tienen niveles elevados de IGF-I en plasma seminal; sin embargo, en condiciones *in vitro*, Dahli *et al.* (2009) llevaron a cabo un experimento utilizando IGF-I en semen de toros con alto y bajo rango de fertilidad; los resultados obtenidos mostraron que cuando el nivel de IGF-I es estandarizado en 100 ng/ml, el porcentaje de fecundación de los sementales con baja fertilidad es similar al de los toros con alta fertilidad (67.7 vs 66.4%, respectivamente), logrando así demostrar que el IGF-I mejora el desempeño de los espermatozoides con sementales de baja fertilidad. Aunque, estos resultados difieren de los encontrados en nuestro estudio, ya que cuando se utilizó IGF-I al momento de la fertilización se perjudicó la fertilización.

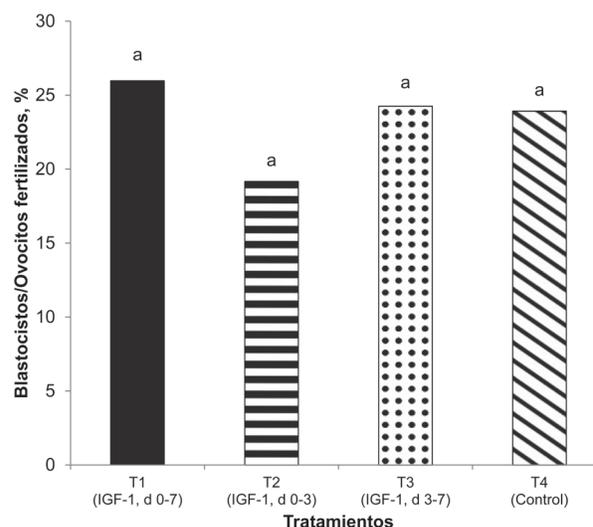
Dicho hallazgo podría deberse también a que el IGF-I alteró la funcionalidad del ovocito, ya que Hashizume *et al.* (2000) y Stevenson y Whates (1996) afirman que los receptores para IGF-I son detectados en células de la granulosa en el ovario, en epitelio secretor del oviducto y en glándulas endometriales del útero de hembras no gestantes. Lo que hace suponer que el IGF-I mantiene un efecto regulador en la fertilización del ovocito; aunque por otra parte, Sirisathien *et al.* (2003) afirman que el IGF-I no tiene efecto sobre la fertilización o en estadios tempranos del embrión.

El uso de SS en programas de FIV es asociado a una alta variabilidad de los resultados, dependientes en gran medida del semental (Barceló-Fimbres y Seidel Jr, 2007), así como del desarrollo embrionario posterior (Ward *et al.*, 2003). Los resultados obtenidos en este estudio para la tasa de fertilización con SS son similares a lo alcanzado por Tonello *et al.* (2005), pero inferiores a los reportados por Cebrian-Serrano *et al.* (2013) y Rasmussen *et al.* (2013); posiblemente, esto sea debido a que ellos utilizaron ovocitos aspirados *in vivo* a través de punción ovárica (OPU por sus siglas en inglés), los cuales tienen mayor competencia en lograr la fertilización que ovocitos provenientes de vacas enviadas a rastro (Dahli *et al.*, 2009), pues dichos animales presentan un sin número de problemas reproductivos, razón por la cual se determina el fin de su vida productiva.

Evaluación de la tasa de blastocistos. No se encontró diferencia ($P > 0.05$) entre tratamientos para la tasa de ovocitos fertilizados que alcanzaron el estadio de blastocisto con SS. Estos resultados se presentan en la Figura 2; El porcentaje de ovocitos que llegaron al estadio de blastocisto, contrasta con lo reportado por Sirisathien *et al.* (2003), quienes mostraron que el IGF-I a 10 y 50 ng/ml mejoraba la proporción de embriones con 4 células que alcanzaban el estadio de blastocisto cuando eran comparados con el grupo control (54.4, 64.2 y 39.3%, respectivamente). Aunado a esto, Bonilla *et al.* (2011a) obtuvieron una mayor tasa de blastocistos (~30%) cuando adicionaban IGF-I

(100 ng/ml) el día 3 pos-fertilización, aunque en el presente estudio se utilizó SS, el cual tiene menor tasa de fertilidad. Estos mismos autores afirman que este efecto favorable en el desarrollo embrionario es debido a la activación de rutas proteicas, tales como la proteína MAPK, cuya función está mediada por IGF-I y participa en eventos claves como proliferación celular y bloqueo de la apoptosis (Jousan y Hansen, 2007), incluyendo disminución del estrés, tanto calórico (Jousan *et al.*, 2008) como oxidativo (Bonilla *et al.*, 2011b).

Figura 2. Tasa de blastocistos/ ovocitos fertilizados de acuerdo al día de adición de IGF-I al medio de cultivo embrionario.



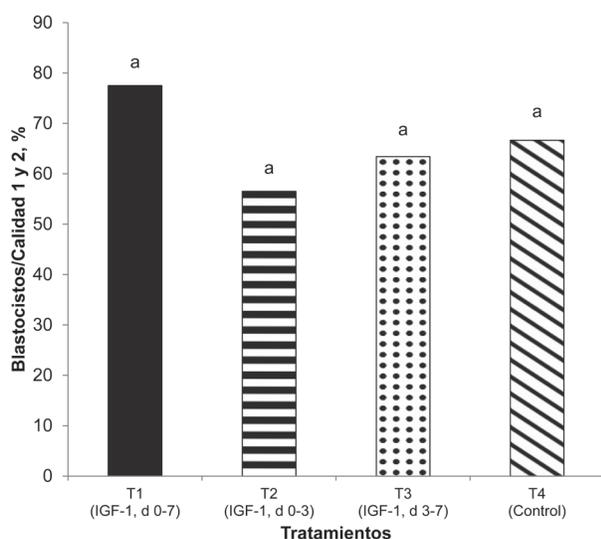
^a Literal similar entre tratamientos denota que no hubo diferencia estadística ($P > 0.05$).

El IGF-I aumenta la tasa de blastocistos debido a que regula eventos claves asociados con el genoma embrionario (Bonilla *et al.*, 2011a), por lo tanto, la falta de desarrollo embrionario en etapas tempranas (primeros 3 días pos-fertilización) puede ser atribuida a que el embrión aún no tiene formado ni activado su propio genoma (Memili y First, 2000) y se encuentra regulando sus procesos vitales a través del genoma materno; aunque en nuestro análisis para ovocitos que se convierten en blastocistos no existió diferencia significativa entre tratamientos, hubo una tendencia

numérica negativa en el T2 (IGF-I, 0-3d), de tal manera que el retiro del IGF-I para etapas posteriores del desarrollo embrionario tendió a limitar la capacidad del embrión para convertirse en blastocisto.

Evaluación de la calidad embrionaria. Los resultados obtenidos para calidad embrionaria de acuerdo a los embriones que alcanzaron la calidad 1 y 2 (IETS; 1998) (Figura. 3) muestran que no hubo diferencia entre tratamientos ($P > 0.05$).

Figura 3. Tasa de blastocistos con calidad 1 y 2 por tratamiento.



^a Literal igual entre tratamientos denota que no hubo diferencia estadística ($P > 0.05$).

Loureiro *et al.* (2009) reportaron una tasa de blastocistos viables para transferencia del 18%, cuando estos fueron desarrollados con IGF-I y fertilizados con SS; estos resultados no coinciden con los alcanzados en este estudio (6.1%); tampoco concuerdan con la tasa de 11.7% obtenida por Cebrian-Serrano *et al.* (2013), ni con el 13% de Rasmussen *et al.* (2013); sin embargo, estos últimos no utilizaron IGF-I en sus medios de cultivo embrionario. En este sentido, Block y Hansen (2007) lograron una tasa de blastocistos transferibles fertilizados con semen convencional del 14.7% cuando utilizaban IGF-I en el medio de cultivo.

Conclusión

Bajo las condiciones del presente estudio, se concluye que la adición de IGF-I a los medios de fertilización y cultivo *in vitro* no tiene un efecto benéfico para la producción de embriones, pero sí afecta la fertilidad del semen sexado.

Literatura citada

- BARCELÓ-FIMBRES, M. and G. E. Seidel Jr. 2007. Effects of either glucose or fructose and metabolic regulators on bovine embryo development and lipid accumulation *in vitro*. *Mol. Reprod. Dev.* 74:1406-1418.
- BLOCK, J., M. Drost, R. L. Monson, J. J. Rutledge, R. M. Rivera, F. F. Paula-Lopes, O. M. Ocon, C. E. Krininger III, J. Liu, and P. J. Hansen. 2003. Use of insulin-like growth factor-I during embryo culture and treatment of recipients with gonadotropin-releasing hormone to increase pregnancy rates following the transfer of *in vitro*-produced embryos to heat-stressed, lactating cows. *J. Anim. Sci.* 81:1590-1602.
- BLOCK, J. and P. J. Hansen. 2007. Interaction between season and culture with insulin-like growth factor-1 on survival of *in vitro* produced embryos following transfer to lactating dairy cows. *Theriogenology* 67:1518-1529.
- BONILLA, A. Q. S., M. Ozawa, and P. J. Hansen. 2011a. Timing and dependence upon mitogen-activated protein kinase signaling for pro-developmental actions of insulin-like growth factor 1 on the preimplantation bovine embryo. *Growth. Horm. IGF. Res.* 21:107-111.
- BONILLA, A. Q. S., L. J. Oliveira, M. Ozawa, E. M. Newsom, M. C. Lucy, and P. J. Hansen. 2011b. Developmental changes in thermoprotective actions of insulin-like growth factor-1 on the preimplantation bovine embryo. *Mol. Cell. Endocrinol.* 332:170-179.
- BREUKELMAN, S. P., Z. Perényi, M. A. M. Taverne, H. Jonker, G. C. van der Weijden, P. L. A. M. Vos, L. de Ruigh, S. J. Dieleman, J. F. Beckers, and O. Szenci. 2012. Characterisation of pregnancy losses after embryo transfer by measuring plasma progesterone and bovine pregnancy-associated glycoprotein-1 concentrations. *Vet. J.* 194:71-76.
- CEBRIAN-SERRANO, A., M. A. Silvestre, S. Ruiz, and D. Rath. 2013. Effect of sex-sorted sperm on development and quality of *in vitro*-produced bovine embryos derived from ovum pick up oocytes. *Anim. Sci. Pap. Rep.* 31 (Suppl. 2):111-122.
- CRAN, D. G., L. A. Johnson, N. G. A. Miller, D. Cochrane, and C. Polge. 1993. Production of calves following separation of X- and Y-chromosome bearing sperm and *in vitro* fertilization. *Vet. Rec.* 132:40-41.
- DAHLI, A., V. M. Anchamparuthy, S. P. Butler, R. E. Pearson, and F. C. Gwazdauskas. 2009. *In vitro* development of bovine embryos cultured with stem cell factor or insulin-like growth factor-I following IVF with semen of two bulls having different field fertility. *Anim. Reprod. Sci.* 116:188-195.
- DE LA TORRE-SÁNCHEZ, J. F., K. M. Preis, and G. E. Seidel Jr. 2006. Metabolic regulation of *in vitro* produced bovine embryos. I. Effects of metabolic regulators at different glucose concentrations with embryos produced by semen of different bulls. *Reprod. Fertil. Dev.* 18:585-596.
- FALKENBERG, U., J. Haertel, K. Rotter, M. Iwersen, G. Arndt, and W. Heuwieser. 2008. Relationships between the concentration of insulin-like growth factor-1 in serum in dairy cows in early lactation and reproductive performance and milk yield. *J. Dairy. Sci.* 91:3862-3868.

- FATEHI, A. N., M. M. Bevers, E. Schoevers, B. A. Roelen, B. Colen-Brander, and B. M. Gadella. 2005: DNA damage in bovine sperm does not block fertilization and early embryonic development but induces apoptosis after the first cleavages. *J. Androl.* 27:176-188.
- GOPICHANDRAN, N. and H. J. Leese. 2006. The effect of paracrine/autocrine interactions on the *in vitro* culture of bovine implantation embryos. *Reproduction* 131:269-77.
- HASHIZUME, T., K. Ohtsuky, and N. Matsumoto. 2000. Plasma insulin-like growth factor-I concentrations increase during the estrous phase in goats. *Domest. Anim. Endocrinol.* 18:253-263.
- HENRICKS, D. M., A. J. Kouba, B. R. Lackey, W. R. Boone, and S. L. Gray. 1998. Identification of insulin-like growth factor I in bovine seminal plasma and its receptor on spermatozoa: influence on sperm motility. *Biol. Reprod.* 59:330-337.
- HOEFELICH, A., H. D. Reichenbach, J. Schwartz, T. Grupp, M. M. Weber, J. Foll, and E. Wolf. 1999. Insulin-like growth factors and IGF-binding proteins in bovine seminal plasma. *Domest. Anim. Endocrinol.* 17:39-51.
- INTERNATIONAL EMBRYO TRANSFER SOCIETY (IETS). 1998. Manual of the International Embryo Transfer Society. Third Edition. Savory, Illinois, E.U.A.
- JOUSAN, F. D., L. J. Oliveira, and P. J. Hansen. 2008. Short-Term culture of *in vitro* produced bovine preimplantation embryos with insulin-like growth factor-I prevents heat shock-induced apoptosis through activation of the Phosphatidylinositol 3-Kinase/Akt pathway. *Mol. Reprod. Dev.* 75:681-688.
- JOUSAN, F. D. and P. J. Hansen. 2007. Insulin-like growth factor-I promotes resistance of bovine preimplantation embryos to heat shock through actions independent of its anti-apoptotic actions requiring PI3K signaling. *Mol. Reprod. Dev.* 74:189-196.
- KHURANA, N. K. and H. Niemann. 2000. Effects of oocyte quality, oxygen tension, embryo density, cumulus cells and energy substrates on cleavage and morula/blastocyst formation of bovine embryos. *Theriogenology* 54:741-756.
- LIMA, P. F., M. A. Oliveira, M. H. Santos, H. D. Reichenbach, M. Weppert, F. F. Paula-Lopes, C. C. Neto, and P. B. Goncalves. 2006. Effect of retinoids and growth factor on *in vitro* bovine embryos produced under chemically defined conditions. *Anim. Reprod. Sci.* 95:184-192.
- LONERGAN, P. 1994. The application of *in vitro* fertilization techniques to the prediction of bull fertility. *Reprod. Dom. Anim.* 29:12-21.
- LONERGAN, P. 2007. State of the art embryo technologies in cattle. *Reproduction in Domestic Ruminants VI*. Nottingham University Press. Nottingham, U.K. 315-325.
- LONERGAN, P., T. Fair, D. Corcoran, and A. C. Evans. 2006. Effect of culture environment on gene expression and developmental characteristics in IVF-derived embryos. *Theriogenology* 65:137-152.
- LOUREIRO, B., L. Bonilla, J. Block, J. M. Fear, A. Q. Bonilla, and P. J. Hansen. 2009. Colony-stimulating factor 2 (CSF-2) improves development and posttransfer survival of bovine embryos produced *in vitro*. *Endocrinology* 150:5046-5054.
- MAHMOUD, A. I. and J. J. Parrish. 1996. Oviduct fluid and heparin induce similar surface changes in bovine sperm during capacitation. *Mol. Reprod. Dev.* 43:554-560.
- MEMILI, E. and N. L. First. 2000. Zygotic and embryonic gene expression in cow: a review of timing and mechanisms of early gene expression as compared with other species. *Zygote* 8:87-96.
- MOORE, K., J. M. Kramer, C. J. Rodriguez-Sallaberry, J. V. Yelich, and M. Drost. 2007. Insulin-like growth factor (IGF) family genes are aberrantly expressed in bovine conceptuses produced *in vitro* or by nuclear transfer. *Theriogenology* 68:717-727.
- MOORE, K. and W. W. Thatcher. 2006. Major Advances Associated with Reproduction in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 89:1254-1266.
- MORTON, K. M., D. Herrmann, B. Sieg, C. Struckmann, W. M. Maxwell, D. Rath, G. Evans, A. Lucas-Hahn, H. Niemann, and C. Wrenzycki. 2007. Altered mRNA expression patterns in bovine blastocysts after fertilisation *in vitro* using flow-cytometrically sex-sorted sperm. *Mol. Reprod. Dev.* 74:931-940.
- PALMA, G. A., N. Olivier, Ch. Neumüller, and F. Sinowatz. 2008. Effects of Sex-sorted Spermatozoa on the Efficiency of *in vitro* Fertilization and Ultrastructure of *in vitro* Produced Bovine Blastocysts. *Anat. Histol. Embryol.* 37:67-73.
- PARRISH, J. J., J. L. Susko-Parrish, M. L. Leibfried-Rutledge, E. S. Critser, and W. H. Eyestone. 1986: Bovine *in vitro* fertilization with frozen-thawed semen. *Theriogenology* 25:591-600.
- RASMUSSEN, S., J. Block, G. E. Seidel Jr, Z. Brink, K. McSweeney, P. W. Farin, L. Bonilla, and P. J. Hansen. 2013. Pregnancy rates of lactating cows after transfer of *in vitro* produced embryos using X-sorted sperm. *Theriogenology* 79:453-461.
- RIZOS, D., M. Clemente, P. Bermejo-Alvarez, J. de La Fuente, P. Lonergan, and A. Gutierrez-Adan. 2008. Consequences of *in vitro* culture conditions on embryo development and quality. *Reprod. Domest. Anim.* 43 (Suppl. 4):44-50.
- RIZOS, D., F. Ward, P. Duffy, M. Boland, and P. Lonergan. 2002. Consequences of bovine oocyte maturation, fertilization or early embryo development *in vitro* versus in vivo: implications for blastocyst yield and blastocyst quality. *Mol. Reprod. Dev.* 61:234-248.
- SAGIRKAYA, H., M. Misirlioglu, A. Kaya, N. L. First, J. J. Parrish, and E. Memili. 2006. Developmental and molecular correlates of bovine preimplantation embryos. *Reproduction* 131:895-904.
- SARTORI, R., A. H. Souza, J. N. Guenther, D. Z. Caraviello, L. N. Geiger, J. L. Schenk, and M. C. Wiltbank. 2004. Fertilization rate and embryo quality in superovulated Holstein heifers artificially inseminated with X-sorted or unsorted sperm. *Anim. Reprod.* 1:86-90.
- SAS. Institute. 2002. SAS. User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- SEIDEL JR, G. E., J. L. Schenk, L. A. Herickhoff, S. P. Doyle, Z. Brink, R. D. Green, and D. G. Cran. 1999. Insemination of heifers with sexed sperm. *Theriogenology* 52:1407-1420.
- SELVARAJU, S., I. J. Reddy, S. Nandi, S. B. N. Rao, and J. P. Ravindra. 2009. Influence of IGF-I on buffalo (*Bubalus bubalis*) spermatozoa motility, membrane integrity, lipid peroxidation and fructose uptake *in vitro*. *Ani. Reprod. Sci.* 113:60-70.
- SHI, D. S., K. H. Lu, and I. Gordon. 1990. Effects of bulls on fertilization of bovine oocytes and their subsequent development *in vitro*. *Theriogenology* 33:324.
- SIRISATHIEN, S., H. J. Hernandez-Fonseca, and B. G. Brackett. 2003. Influences of epidermal growth factor and insulin-like growth factor-I on bovine blastocyst development *in vitro*. *Anim. Reprod. Sci.* 77:21-32.
- STEVENSON, K. and D. Whates. 1996. Insulin-like growth factors and their binding proteins in the ovine oviduct during the oestrus cycle. *J. Reprod. Fert.* 108:31-40.
- SUAREZ, S. S. 1997. The oviductal sperm reservoir in mammals: mechanisms of formation. *Biol. Reprod.* 58:1105-1107.
- TONELLO, T. T. M., M. F. Accorsi, M. F. Ferraz, M. R. Waranabe, F. D. P. Meirelles, F. V. Meirelles, and Y. F. Watanabe. 2005. Produção *in vitro* de embriões bovinos a partir de sêmen sexado. *Acta Sci. Vet.* 33 (Suppl. 1).
- VAJTA, G., T. Krosi, Y. Du, K. Nakata, S. Leda, M. Kuwayama, and Z. P. Nagy. 2008. The well of the well system: an efficient approach to improve embryo development. *Reproductive BioMedicine Online* 17:73-81.

- VELÁZQUEZ, M. A., L. J. Spicer, and D. C. Wathes. 2008. The role of endocrine insulin-like growth factor-I (IGF-I) in female bovine reproduction. *Domest. Anim. Endocrinol.* 35:325-242.
- WARD, F., D. Rizos, M. P. Boland, and P. Lonergan. 2003. Effect of reducing sperm concentration during IVF on the ability to distinguish between bulls of high and low field fertility: work in progress. *Theriogenology* 59:1575-1584.
- WU, M., J. Hall, R. M. Akers, and H. Jiang. 2010. Effect of feeding level on serum insulin-like growth factor I (IGF-I) response to growth hormone injection. *J. Endocrinol.* 206:37-45.
- XU, J., S. A. Chaubal, and F. Du. 2009. Optimizing IVF with sexed sperm in cattle. *Theriogenology* 71:39-47.
- XU, J., Z. Guo, L. Su, T. L. Nedambale, J. Zhang, and J. Schenk. 2006. Developmental potential of vitrified Holstein cattle embryos fertilized *in vitro* with sex-sorted sperm. *J. Dairy Sci.* 89:2510-2518.
- YANG, X., S. Jiang, and R. H. Foote. 1993. Bovine oocyte development following different oocyte maturation and sperm capacitation procedures. *Mol Reprod Dev.* 34:94-100.
- YOSHIZAWA, M., H. Konno, S. Zhu, S. Kageyama, E. Fukui, S. Muramatsu, S. Kim, and Y. Araki. 1999. Chromosomal diagnosis in each individual blastomere of 5 to 10-cell bovine embryos derived from *in vitro* fertilization. *Theriogenology* 51:1239-1250. 

Este artículo es citado así:

Martínez-Guerrero, O. J. Antillón-Ruiz, F. A. Rodríguez-Almeida. 2015. Tasa de fertilización, desarrollo y calidad de embriones bovinos Holstein producidos in vitro con semen sexado y adición de IGF-I. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 9(3): 140-147.

Resumen curricular del autor y coautores

OCTAVIO MARTÍNEZ GUERRERO. Obtuvo el título de Médico Veterinario Zootecnista en 2011 por la Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Zacatecas. En 2015 logra el título de Maestro en Ciencias en el área de Reproducción y Genética Animal por la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Desde 2015 a la fecha, labora en el Comité Estatal para el Fomento y Protección Pecuaria de Zacatecas como Profesional Zoon sanitario (Supervisor Distrital).

JAVIER ANTILLÓN RUIZ. Obtuvo el título de Ingeniero Zootecnista en Sistemas de Producción en el 2008 y el grado de Maestría en Ciencias en el área de Reproducción y Genética Animal en el 2012 en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Desde el 2010 labora en esta Facultad y su área de especialización es la producción in vitro de embriones. Es autor y coautor de tres artículos científicos y dos ponencias en congreso. Del año 2015 a la fecha, colabora como asesor del centro de biotecnologías reproductivas de la Unión Ganadera Regional de Chihuahua.

FELIPE ALONSO RODRÍGUEZ ALMEIDA. Es Ingeniero Zootecnista (1988) y Maestro en Ciencias en Producción Animal, con área mayor en Reproducción y Genética (1990), por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su doctorado en la Universidad de Nebraska-Lincoln (1994) en el área de Mejoramiento Animal, para lo cual realizó su disertación enfocada al desarrollo de modelos para la evaluación genética de bovinos carne en poblaciones multirraciales. Su trabajo de investigación en México lo ha enfocado principalmente al desarrollo de evaluaciones genéticas nacionales, el mantenimiento de la integridad de la membrana espermática en semen criopreservado de ovino, la evaluación de cruza para la producción de carne de ovino y bovino, con énfasis especial en la eficiencia biológica y los factores que influyen en la misma, y la incorporación de la genética molecular y la genómica en los programas de mejora genética de ovinos en México. Es autor y coautor de más de 40 artículos en revistas indizadas y arbitradas, tres capítulos en libro, y más de 60 trabajos presentados en congresos nacionales e internacionales. Se ha desempeñado como académico en la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua desde 1990 y ha sido Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1993 (Candidato 1993-1996, Nivel I 1996-2002, 2008-2018).

Una revisión de redes MLP como clasificadores de múltiples clases

A survey on MLP neural networks as multi-class classifiers

RICARDO MAJALCA MARTÍNEZ^{1,2} Y PEDRO RAFAEL ACOSTA CANO DE LOS RÍOS¹

Recibido: Enero 18, 2016

Aceptado: Febrero 8, 2016

Resumen

Se presenta el estado actual de clasificadores de múltiples clases implementados con redes *Multi Layer Perceptron*, MLP. Los clasificadores de múltiples clases basados en redes MLP han sido utilizados en muchos casos con éxito. Se presentan, primero, los aspectos generales y las diferentes formas de implementar clasificadores de múltiples clases, incluyendo las redes MLP. Después se presentan aspectos de arquitectura de las redes MLP clasificadoras incluyendo consideraciones de diseño y organización tales como: capas de entrada, ocultas y de salida, así como la cantidad de neuronas en cada capa. Luego viene una revisión acerca de las metodologías existentes para su entrenamiento, y cómo es que la organización de la red afecta las condiciones de entrenamiento. A continuación, se presentan casos de uso de las redes MLP como clasificadores, sus características y detalles acerca de los parámetros referentes al diseño de la red y también se revisan los resultados de su aplicación. En el material revisado, pareciera ser que el desempeño depende en gran medida de su aplicación específica, aunque no existe trabajo que demuestre esto en forma determinante.

Palabras clave: clasificador múltiples clases MLP, red neuronal, entrenamiento MLP, aplicación clasificadores.

Abstract

The current state of classifiers multiple classes implemented Multi Layer Perceptron networks, MLP, is presented. Multi-class classifiers based on MLP neural network have been successfully used in many cases. First, general aspects and existing approaches of implementing multi-class classifiers are introduced, including MLP neural networks. Afterwards, aspects on MLP network architecture are described, including the design and organization considerations such as input layers, hidden layers and output layers, as well as amount of neurons in each layer. Then comes a review on existing methodologies for training, and how the network organization affects the training conditions. Afterwards, some cases of MLP networks used as classifiers are revised, considering their characteristics and details about network design along with its results in the particular application. Although it seems from the review of literature that the performance of this kind of classifiers largely depends on the specific application, there exist no concluding results on it.

Keywords: MLP multi-class classifier, neural network, MLP training, classifiers application.

Introducción

Las redes MLP, como métodos para implementar un clasificador de múltiples clases han mostrado ser efectivas en aplicaciones diversas. Se han utilizado eficazmente para determinación de patrones de comportamiento, detección de condiciones específicas, fallas y otros aspectos.

¹ Instituto Tecnológico de Chihuahua. Ave. Tecnológico 2909, Col. Magisterial, Chihuahua, Chih., México. 31200. Tel: (614) 417-4353.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: rmajalca@itchihuahua.edu.mx.

En general, una máquina clasificadora, recibe como información de entrada un patrón $X \in R^n$ siendo R^n el espacio de los números reales de dimensión n a donde pertenecen los patrones de entrada y produciendo como respuesta una etiqueta $Y_i \in \{0,1\}$, donde $Y_i = 1$ indica que el patrón de entrada X pertenece a la categoría i . Los clasificadores, independientemente de la técnica utilizada, se dividen en dos tipos (Allwein, Schapire, & Singer, 2001; Galar, Fernández, Barrenechea, Bustince, & Herrera, 2011), dependiendo del total de categorías que particionan el espacio de entrada. Si se *particiona en sólo dos clases o categorías*, se tiene un *clasificador binario*. Este es el tipo de clasificador más estudiado. El otro tipo de clasificador particiona en más de dos categorías, conocido como *clasificador de múltiples clases*, y es el caso más general posible. En relación con las redes neuronales MLP, no es simple, en lo general, implementar una clasificación de múltiples clases en una red neuronal. Existe bastante información sobre el caso binario (G. Bin Huang, Chen, & Babri, 2000), pero extender esto al caso de múltiples clases no es un proceso trivial, como se muestra en (Jin-Seon Lee & Il-Seok Oh, 2003).

Los clasificadores de múltiples clases ocurren de dos maneras distintas (Allwein *et al.*, 2001; Ou & Murphey, 2007): Una forma consiste en diseñar tantos clasificadores binarios como categorías existan. Cada uno de ellos entrenado para distinguir a una de las categorías del resto. Así, el i -ésimo clasificador separa a la i -ésima clase. Para este i -ésimo clasificador, si $X \in C_i$, entonces $Y_i = 1$, en caso contrario $Y_i = 0$, (Lorena, De Carvalho, & Gama, 2008). De este modo, un patrón X es alimentado a cada clasificador y, posteriormente, éste es asignado a la clase para la cual el clasificador respectivo respondió con la unidad, (Galar *et al.*, 2011; Lorena *et al.*, 2008; Tax & Duin, 2002). El otro esquema consiste en un solo clasificador que deberá ser capaz de distinguir entre todas las categorías. Normalmente en este tipo de clasificador, su respuesta Y es una codificación acerca de la única categoría entre todas las posibles a quien

queda asignado el patrón de entrada X , (Windeatt & Ghaderi, 2003). En cuanto a estos dos esquemas de implementación, se puede ver en (Ou & Murphey, 2007) que el desempeño varía en cuanto al criterio de comparación. Por ejemplo, en cuanto al tiempo de entrenamiento, es notorio cómo el esquema de múltiples clasificadores binarios es más rápido que una sola red neuronal. Por otro lado, algunos clasificadores de múltiples clases se ven afectados enormemente cuando en algunas clases existen más muestras que en otras (Mazurowski *et al.*, 2008).

Los clasificadores de múltiples clases suelen implementarse partiendo de diferentes técnicas, además de las redes MLP. Los más utilizados actualmente son las *máquinas de vectores soporte* o SVM (Mayoraz & Alpaydin, 1999; Angulo, Parra, & Català, 2003). Se argumenta que éstas tienen una estructura más sencilla en comparación con las redes neuronales, además, su tiempo de entrenamiento es más corto pues contemplan un único óptimo global como meta (Martínez, Iglesias, Matías, Taboada, & Araújo, 2014), aunque requieren un *kernel* de pre procesamiento. Aunque el uso de múltiples clasificadores binarios continúa siendo la forma más común de implementar clasificadores de múltiples clases con SVM, desde hace más de quince años se tiene en (Mayoraz & Alpaydin, 1999) un detallado informe sobre cómo incorporar características de clasificador de múltiples clases a una SVM, que en principio es del estilo binario. En este mismo artículo, los autores subrayan el evitar el diseño basado en múltiples clasificadores binarios, pues, aunque son más fáciles de implementar con otros esquemas como las redes neuronales, en lo referente a máquinas SVM, indican que no es difícil adaptarse al uso de una sola máquina SVM.

Otra forma de implementar clasificadores de múltiples clases, si puede caracterizar al clasificador como *función o conjunto de funciones de discriminación* estadística, es usando clasificadores bayesianos (Wu, Lin, & Weng, 2004). Es también común que cuando

estas caracterizaciones estadísticas sobre las categorías no permiten parametrizaciones, entonces se recurre a clasificadores de distancia (Lange, Mosler, & Mozharovskiy, 2014) y los clasificadores de ventanas (Yeung & Chow, 2002), entre otros. En otros casos, cuando la información es estructurada, la clasificación se puede llevar a cabo mediante árboles de decisión para clasificación (Jin-Seon Lee & Il-Seok Oh, 2003). Un caso muy diferente e interesante se presenta en (Thabtah, Cowling, & Peng, 2005), en donde un clasificador de múltiples clases ha sido diseñado utilizando un sistema basado en reglas, que de hecho no queda en ninguna de las metodologías mencionadas antes. Es particularmente interesante este clasificador, porque ha adaptado un esquema de procesamiento de datos que normalmente es simbólico, para implementar un procesador de datos numéricos. No es extraño, por otro lado, encontrar clasificadores híbridos modulares en cuanto a su funcionamiento, incluyendo entre sus módulos, estilos diferentes de clasificación. Por ejemplo, en (Cheong, Oh, & Lee, 2004) se presenta un clasificador de múltiples clases que utiliza en una primera etapa una red neuronal SOM y luego, en una segunda etapa, se tiene una máquina de vectores soporte, que, a su vez, hace las veces de un clasificador binario cuyas decisiones se correspondan con las de un árbol de decisión binario.

Algunas arquitecturas se basan sólo en parte en las redes MLP, tal como se muestra en (Ciresan, Meier, & Schmidhuber, 2012) donde se presenta un caso de una red neuronal que utiliza una red MLP como parte superior de la jerarquía de su estructura. Esta red utiliza aprendizaje competitivo, que emula el proceso biológico de percepción e interpretación visual en mamíferos, aplicado en la clasificación de imágenes. Esta red neuronal es particularmente interesante porque pertenece a la categoría de redes que emulan muy bien los procesos fisiológicos de mamíferos, para reconocer imágenes, a partir de un clasificador de múltiples clases. En una aplicación en la ingeniería

biomédica en (Jayalakshmi & Santhakumaran, 2011), una red MLP ha sido entrenada eficazmente para clasificar patrones que representan pacientes diabéticos. La red debe clasificar dichos patrones en clases que dependen de síntomas y lecturas provenientes de análisis clínicos e historial médico del paciente. La cuestión nueva aquí, es que los patrones deberían ser normalizados, según ciertos criterios, para que la exactitud del clasificador aumente. Los autores entonces, proponen tanto el diseño de la red clasificadora, como de distintos esquemas de normalización para los patrones de los pacientes.

Una red MLP es una red neuronal bastante conocida, cuya forma de entrenamiento básica, algoritmo de propagación hacia atrás, es de los más conocidos y además, existen variantes al algoritmo que son muy utilizadas también. Pero, como se puede concluir a partir de (Singh, Tiwari, & Shukla, 2012), los aspectos referentes a la organización o arquitecturas de la red, pueden ser un predicamento para quien desarrolla y diseña el clasificador. En el presente artículo se hace una revisión sobre los avances existentes en estructura, funcionalidad y entrenamiento de las redes MLP y su desempeño como clasificadores de múltiples clases. En la siguiente sección se presenta lo existente sobre la estructura general y funcionalidad de las redes MLP, así como un análisis de las estructuras específicas utilizadas en la literatura considerando su desempeño. En la tercera sección se revisan los métodos de entrenamiento utilizados. Posteriormente, se muestra un análisis de las variantes, ventajas y dificultades reportadas en la literatura al utilizar una red MLP como red clasificadora. Por último, se presentan las conclusiones emanadas de la revisión realizada.

Arquitectura de una red MLP

Una red MLP es una red neuronal constituida por capas de neuronas. Cada k -ésima capa de neuronas representa un conjunto de neuronas que reciben todas la misma

información de entrada, X_k , por medio de conexiones o pesos, W_k , y cada neurona produce su propia respuesta, $Z_{k,j}$, donde $j=1,2,\dots,m_k$, siendo el total de neuronas en la k -ésima capa de neuronas. Cada neurona en la red utiliza la misma función de activación para procesar el producto del patrón de entrada con las conexiones asociadas a dicho patrón de entrada. En ciertos casos se consideran entradas extras fijas, asociado con un patrón, b_k , de valores llamados *bias*, para cada una de las m neuronas en la capa. Si se agregan todas las respuestas individuales $z_{k,j}$ en un patrón, $Z_k \in R^{m_k}$, de respuesta, entonces se puede representar el proceso llevado a cabo por la capa de neuronas como:

$$Z_k = f_k(W_k X_k + b_k) \quad (1)$$

Donde $f_k(\cdot)$ es la función de activación que todas las neuronas de la k -ésima capa utilizan. Toda red neuronal tipo MLP presenta una sola capa de entrada, que es la capa con el patrón de entrada X , una o más capas ocultas, una seguida de la otra, conectada cada una con la respuesta de la capa anterior, y una capa de salida, conectada con la última capa oculta, que presenta la repuesta final de la red.

En la expresión (2), se muestra el procesamiento de una red MLP con dos capas. Existe el patrón de entrada X , luego la primera capa, después la segunda capa, y finalmente la capa de salida. Se denota con Z_1 la respuesta de la primera capa, Z_2 la respuesta de la capa 2, y como Y la respuesta de la red neuronal.

$$\begin{aligned} Z_1 &= f_1(W_1 X + b_1) \\ Z_2 &= f_2(W_2 Z_1 + b_2) \\ Y &= f_3(W_3 Z_2 + b_3) \end{aligned} \quad (2)$$

Así pues, por su forma de procesamiento, una red MLP es una red de propagación hacia adelante, esto es, la información de entrada se propaga a través de la red, desde la capa de entrada, hasta la capa de salida, pasando por una o más capas de neuronas ocultas. Determinar la cantidad de capas ocultas y el total de neuronas en cada capa, son dos

parámetros cuyo criterio de selección no está completamente definido. Estos dos parámetros son un verdadero reto en lo que a diseñar redes neuronales se refiere, y deben ser elegidos muy cuidadosamente. Más capas ocultas hacen que la red funcione más lentamente. Aunque en (Cybenko, 1989) se demuestra que una sola capa oculta es suficiente para lograr la aproximación de cualquier función continua, existen trabajos que muestran un mejor desempeño al utilizar más capas ocultas, específicamente para funciones no convexas (Huang *et al.*, 2000), dependiendo de la función de activación utilizada. Así mismo, si una capa contiene mayor cantidad de neuronas que un número óptimo, el mapeo será llevado a cabo de forma ineficiente, pues las neuronas redundantes llevan a cabo cálculos innecesarios y sin significado (Lee, Oh, & Kim, 1993). También, en este mismo artículo, los autores demuestran que menos capas de neuronas ocultas o menos neuronas ocultas en cada capa, de las absolutamente necesarias provocan un desempeño pobre, pues el mapeo es incompleto o incongruente. En resumen, debe diseñarse la red MLP para que contenga la cantidad de capas ocultas, y en cada capa, la cantidad de neuronas que proporcionen el mejor desempeño. Además, lo que sucede cuando una capa produce su respuesta a partir de la información de entrada es un *mapeo* (Hagan, Demuth, & Beale, 1995) que convierte los datos de entrada en datos de salida con un significado y sentido diferente. Por ejemplo, ese mapeo puede resultar en una mayor o menor dimensión a la salida (Müller, Mika, Rätsch, Tsuda, & Schölkopf, 2001).

Es común definir la cantidad de capas y neuronas en cada capa por prueba y error, aunque distintos autores han utilizado métodos y procedimientos muy variados. Algunos de estos métodos se mencionan a continuación, por ser notables. Se puede ver en (Stathakis, 2009) el uso de un proceso de optimización a partir de un algoritmo genético. La organización y arquitectura de la red es determinada a partir de un proceso de optimización estocástica

evolutiva. En (Panchal, Ganatra, Kosta, & Panchal, 2011) se presenta un análisis comparativo sobre algunos criterios que, a manera de valores heurísticos, proponen una arquitectura u organización para la red MLP en cuanto a la cantidad de neuronas ocultas, si la red sólo contiene una capa oculta. Dependiendo del tipo de aplicación que se le asignará a la red, algunos criterios son fáciles de aplicar, otros más bien implican cálculos o decisiones complejas. En este estudio sobresalen los siguientes criterios: una simple fórmula que relaciona las entradas con las salidas, otro utiliza una red de Hopfield para encontrar una relación entre entradas y salidas, determinando con esto la cantidad de neuronas ocultas. Otro enfoque busca minimizar entropías entre entrada y salida, conforme la cantidad de neuronas ocultas aumenta, con ello, optimizan de manera constructiva la mejor red con la cantidad de neuronas ocultas necesarias. Un dato interesante en este artículo es la conclusión de que una sola capa de neuronas ocultas es suficiente casi siempre y en el resto de los casos, dos cuando mucho, es necesario. Los autores concluyen, además, que el uso de estos valores, de estas decisiones heurísticas, están muy lejos de ser determinantes, ni siquiera son generales, y su aplicación en tal caso, es tan solo para otorgar un valor inicial a un proceso como el de prueba y error; por otro lado, en (Huang, 2003) se presenta un estudio sobre cómo una red neuronal con dos capas ocultas puede aprender información, y esta misma información puede ayudar a determinar cuántas neuronas deben existir en cada capa oculta. Similarmente, en (Singh *et al.*, 2012) la red clasificadora ha sido diseñada siguiendo el enfoque de prueba y error, para definir la cantidad de capas y total de neuronas en la red, utilizando hasta dos capas ocultas y la cantidad inicial de neuronas es determinada a partir de información tácita del problema de aplicación.

En (Chattopadhyay & Chattopadhyay, 2008) se tiene un ejemplo de una aplicación que consiste en predecir el promedio de precipitación pluvial debido a los monzones anuales

en la India, datos que ya se tienen disponibles a través de servicios meteorológicos. En ella, los autores han utilizado una sola capa de neuronas ocultas, y la cantidad de neuronas en ella es determinada nuevamente con el método de prueba y error. Probaron múltiples versiones de la red MLP con diferentes cantidades de neuronas en la capa oculta, y llegan a la conclusión de que once neuronas es lo ideal para que la predicción de precipitaciones monzónicas sea lo más correcto posible. En (Sheela & Deepa, 2013), se tiene un estudio muy sustancioso sobre técnicas estadísticas para fijar la cantidad de neuronas ocultas en una red MLP con una sola capa de neuronas ocultas. En este caso se repasan 101 criterios estadísticos que sirven a modo de heurísticas para fijar la cantidad de neuronas ocultas. Estos criterios están basados en el cálculo de valores estadísticos procedentes de los errores que la red comete, específicamente, cuando ésta aproxima a una función continua. Los autores luego proceden a proponer su propio criterio estadístico basado nuevamente en estos errores. La versión de la red MLP que ellos utilizan es una red llamada red de Elman, para predecir velocidades del viento, de manera que comparándolos con los registrados en bases de datos públicas, estas predicciones sean lo más parecidas posibles.

Mención aparte merece la estructura de las llamadas *máquinas de aprendizaje extremo*, o *ELM's*, por sus siglas en inglés de Extreme Learning Machine. Estas son una modificación de lo que en principio es una red neuronal estilo MLP con una sola capa de neuronas ocultas. Estas ELM's han sido aplicadas muy exitosamente en ambas áreas. Lo novedoso y muy sobresaliente acerca de las ELM's es que su capa de neuronas ocultas junto con sus respectivas conexiones con la capa de entrada, no requieren ser entrenadas, ni requieren ajustes durante una etapa de entrenamiento. El valor de las conexiones y el tipo de función de activación en cada neurona ni siquiera se relacionan directamente con la información de entrada y, de hecho, ambos aspectos se determinan

aleatoriamente. Por lo mismo, el aprendizaje en una ELM sólo aplica a las conexiones entre la capa oculta y la capa de salida, lo que hace que el entrenamiento sea en general mucho más rápido que el de una red MLP regular. Para un análisis detallado sobre el tema de las redes ELM véase (G.-B. Huang, Wang, & Lan, 2011). Si bien las máquinas ELM's muestran una velocidad de aprendizaje más rápida que las redes MLP regulares, también es verdad que, en general, la cantidad de neuronas en la capa oculta tiende a ser demasiado grande (Huynh, Won, & Kim, 2008), lo que es una clara desventaja con respecto a las redes neuronales tradicionales en lo referente a su implementación. Algo que resulta muy obvio en todos estos artículos, es la clara preferencia por utilizar una sola capa de neuronas ocultas. En realidad, se ha demostrado que una capa oculta es suficiente para la aproximación de funciones, véase (Barron, 1993; Cybenko, 1989; Anastassiou, 2011). Un estudio detallado respecto a la cantidad de capas ocultas en una red MLP, se muestra en (G. Bin Huang et al., 2000), cuando se utilizan como máquinas clasificadoras. El estudio muestra que las redes MLP con una sola capa de neuronas ocultas pueden aprender a clasificar categorías cuya disposición en el espacio del problema es convexa, mientras que para aprender a distinguir categorías disjuntas o con distribuciones no convexas es necesario una segunda capa de neuronas ocultas. Aunque también los autores han encontrado que, si la función de activación de las neuronas es continua, monotónicamente creciente y acotada, una capa oculta es suficiente para que la red aprenda incluso categorías con distribuciones no convexas. En cuanto a su implementación, la gran mayoría de las redes neuronales se realizan en dispositivos programables de propósito más o menos general, debido a su dificultad de implementarlos en estructuras de hardware específico para redes neuronales (Gardner & Dorling, 1998). Aún con el avance en disponibilidad y facilidad de implementación en dispositivos programables de propósito general, lo que mantiene el interés en la realización de hardware de uso específico para

redes neuronales es su potencial en rapidez de procesamiento, costo en producción masiva y confiabilidad de los sistemas con hardware paralelo o distribuido. En (Misra & Saha, 2010) se muestra una revisión de los avances de implementación de las redes neuronales en dispositivos dedicados, conocidos como *Hardware Neural Networks*.

Técnicas de entrenamiento en redes MLP

La obtención del valor óptimo de conexiones y *bias* en una red MLP se hace por medio de un proceso iterativo llamado entrenamiento. La idea consiste en optimizar algún criterio, que casi siempre es una medida del error de clasificación. En caso de redes MLP, lo que originalmente se propuso para implementar aprendizaje fue la técnica de *propagación hacia atrás* o *backpropagation*, en inglés (M T Hagan et al., 1995). Según el algoritmo de propagación hacia atrás, el entrenamiento implica aplicar iterativamente la *regla delta generalizada* (3), para actualizar cada conexión, W_i , y *bias*, b_i , de cada capa, i , en la red, hasta que el error cuadrático medio (4), de clasificación entre el patrón muestra, Y , y el patrón de la respuesta deseada, Y_d , sea el mínimo posible.

$$W_i(k+1) = W_i(k) - \alpha \nabla_{w,i}(k) \quad (3)$$

$$b_i(k+1) = b_i(k) - \alpha \nabla_{b,i}(k)$$

donde

$$0 < \alpha < 1$$

$$\nabla_{w,i}(k) = s_i X_i^T$$

$$\nabla_{b,i}(k) = s_i$$

$$s_i = \begin{cases} -2 \frac{\partial f_i(\text{net}_i)}{\partial \text{net}_i} e_j & \text{si } i \text{ es la capa de salida} \\ \frac{\partial f_i(\text{net}_i)}{\partial \text{net}_i} W_{i+1}^T \frac{\partial f_{i+1}(\text{net}_{i+1})}{\partial \text{net}_{i+1}} & \text{si } i \text{ es la capa oculta} \end{cases}$$

$$\text{net}_i = W_i X_i + b_i$$

$$ecm = \frac{\sum_{j=1}^P e_j^T e_j}{P} \quad (4)$$

con
$$e_j = Y_{d,j} - Y_j$$

En (3), α es el factor de aprendizaje, mientras que $\nabla_{w_i}(k)$ y $\nabla_{b_i}(k)$ son las direcciones hacia donde ocurre la adaptación de los pesos y *bias* en la i -ésima capa de neuronas, respectivamente; s_i se refiere a la sensibilidad en las neuronas en la i -ésima capa. En (4), T denota la transpuesta y P es el total de pares patrón muestra y de la respuesta deseada. El valor del factor de aprendizaje controla el cambio del valor del parámetro a ajustar, de una iteración a otra (M T Hagan *et al.*, 1995). Si es demasiado grande, el ajuste es desmedido, lo que puede provocar que el algoritmo divague mucho. Si es muy pequeño, el ajuste es muy poco, lo que puede provocar que el algoritmo sea muy lento. No existe manera de establecer un buen valor predeterminado para tal parámetro, casi siempre esto se ajusta con un proceso de prueba y error. Desde que esta técnica fue originalmente propuesta, han surgido otros métodos de entrenamiento, algunos basados directamente en propagación hacia atrás y otros utilizando conceptos diferentes. Por ejemplo, en (Jing, Ji-hang, Jing-yuan, & Fei, 2012) se utiliza factor de aprendizaje adaptivo, esto es, no permanece constante en toda la aplicación de la regla delta, sino que varía dependiendo de la magnitud y dirección de los gradientes. En este tipo de algoritmos, el factor de aprendizaje α se obtiene en cada iteración, llamada época, dependiendo tanto de la magnitud como de la dirección del gradiente del parámetro en turno. En los ejemplos reportados donde se utiliza el factor de aprendizaje adaptivo, el algoritmo de propagación hacia atrás converge más rápido.

Levenberg-Marquardt

Otros definitivamente prefieren un enfoque distinto. Por ejemplo, en (M T Hagan *et al.*, 1995; Kumar, 2012) no se utiliza el gradiente descendiente, sino la técnica *Levenberg-Marquardt*. Esta es una técnica que, en lugar de utilizar sólo la información de la primera derivada, como lo hace propagación hacia atrás, utiliza la segunda derivada como en la técnica de optimización de Newton, si así le conviene, de lo contrario, usa la primera derivada como en

propagación hacia atrás básico. Así que su comportamiento es ajustable, en determinados casos se comporta como propagación hacia atrás, y en otros como la técnica de Newton, lo que le hace un método rápido y también seguro (Martin T. Hagan & Menhaj, 1994; Kumar, 2012). La desventaja es que, en general, es más complejo tanto en su implementación como en sus requerimientos computacionales.

Algoritmos genéticos

En la técnica de propagación hacia atrás, además de los problemas del factor de aprendizaje, existen otros dos aspectos a considerar: el hecho de que se base en la primera derivada le hace proclive a establecerse en un mínimo local muy pronto en el entrenamiento. Además, si los valores iniciales de las conexiones y los *bias* están muy lejos de un óptimo, la convergencia puede ser muy lenta (Jadav & Panchal, 2012). Esto último ha encaminado a no pocos investigadores a buscar formas alternas de llevar a cabo la optimización de los valores de las conexiones y los *bias* de la red MLP evitando el uso de las derivadas. Así, algunos de estos métodos de entrenamiento de redes MLP se basan en *algoritmos genéticos*, tal como en (Che, Chiang, & Che, 2011; Irani & Nasimi, 2011; Jadav & Panchal, 2012). En (Jadav & Panchal, 2012), los resultados demuestran que el valor óptimo encontrado para las conexiones y los *bias*, como quedan determinados por el algoritmo genético, representa un óptimo mejor al que normalmente encuentra la propagación hacia atrás. Por su parte, una comparación más detallada entre los resultados obtenibles por la propagación hacia atrás y el algoritmo genético se presenta en (Che *et al.*, 2011). Aquí los autores han aplicado ambas formas de entrenamiento en una red MLP con una organización preestablecida. Se han limitado a entrenar tal red con ambos enfoques. Según sus resultados, por un lado, la propagación hacia atrás tiene una velocidad de convergencia mayor a la de los algoritmos genéticos, sin embargo, este último presenta una solución menos proclive al problema del sobreajuste.

Por otro lado, en (Irani & Nasimi, 2011) se ha propuesto un enfoque híbrido de entrenamiento para una red MLP. En este nuevo método, se evita que los valores iniciales de las conexiones y de los *bias* se localicen muy cercanos a un óptimo local, utilizando un algoritmo genético para encontrar los valores iniciales de las conexiones y *bias*. Así, se espera que tales parámetros inicien el proceso clásico de entrenamiento según la propagación hacia atrás, pero con unos valores iniciales más cercanos a un óptimo global. También en (Harp & Tariq, 1992) se tiene otro ejemplo de la aplicación de un algoritmo genético como método para encontrar los valores óptimos tanto en la arquitectura de la red, como en los valores de las conexiones y los *bias* de la misma. Se ha determinado que tal enfoque, que incluye tanto el diseño de la red como el entrenamiento de la misma, arroja excelentes resultados en redes más bien pequeñas, con conjuntos de entrenamiento pequeños, según sus resultados experimentales.

Colonias de hormigas

También se han usado otras técnicas estocásticas de optimización, además de algoritmos genéticos. Algunos han preferido utilizar la técnica de *optimización mediante colonias de hormigas*, o ACO, por las siglas en inglés de *Ant Colony Optimization*. En (Blum & Socha, 2005) se muestra un método de entrenar redes MLP utilizando la técnica de optimización ACO. En este caso la aplicación de la red es la de un clasificador de patrones para un sistema médico. Las conexiones y los *bias* de la red son determinados por el optimizador ACO, en lugar del método de propagación hacia atrás. Al igual que en (Harp & Tariq, 1992), los autores demuestran que en la aplicación específica que tienen sus respectivas redes, la solución encontrada por sus técnicas de optimización representan un óptimo mejor al que normalmente localiza propagación hacia atrás. Luego se tiene en (Mavrovouniotis & Yang, 2015) otra aplicación muy interesante. Aquí los autores han decidido entrenar una red MLP utilizando una

red con una sola capa de neuronas ocultas y una cantidad específica de neuronas en tal capa. Los autores han utilizado dos enfoques: entrenar la red utilizando sólo una optimización ACO, y luego, utilizan un híbrido entre propagación hacia atrás y optimización ACO. Para este último, de manera similar a lo hecho en (Irani & Nasimi, 2011) con algoritmos genéticos, la técnica ACO sólo se usa para establecer valores iniciales en las conexiones y *bias*, asegurando un punto de inicio mejor. Los autores han aplicado su red a ciertos problemas de clasificación de patrones, y han comparado sus resultados con los obtenidos con otros estilos de clasificadores, por ejemplo, una red MLP clásica, un clasificador basado sólo en un algoritmo genético y otro basado en *swarm intelligence* clásico. Los resultados muestran que el clasificador entrenado con ACO y propagación hacia atrás es más exacto en sus clasificaciones, pero más lento en su entrenamiento. Un estudio muy interesante acerca del uso de las llamadas *metaheurísticas*, como métodos de optimización en el diseño de una red MLP se presenta en (Khan & Sahai, 2012). Aquí se ha entrenado una red MLP, con una arquitectura muy bien definida, utilizando los clásicos métodos de propagación hacia atrás y el algoritmo Levenberg-Marquardt y otros tres métodos basados en metaheurísticas: un algoritmo genético, un algoritmo llamado *Particle Swarm Optimization*, y uno conocido como *Bat Algorithm*. Todos son métodos de optimización estocástica. Según sus resultados, para una aplicación muy particular que implica determinar preferencias de ventas, en clientes en ambientes de compras en línea, para empresas específicas, nadie supera los resultados obtenidos por el método *Bat Algorithm*, tanto en velocidad de aprendizaje como en calidad del resultado final.

Aplicación y comportamiento de las redes MLP como multclasificadores

En lo referente a multclasificadores con redes MLP, es oportuno revisar aquello que justifique su uso, muestre las ventajas y también

que exponga sus desventajas. Un estudio clásico sobre esta comparación, enfocada sobre todo a las aplicaciones de las redes neuronales MLP para predicciones de metas financieras, se expone en (Vellido, 1999). En este artículo, los autores revisan y analizan artículos y publicaciones existentes en el uso de redes MLP en el contexto de clasificación en aplicaciones financieras. Ellos concluyen que la principal ventaja es la notable capacidad de las redes MLP para clasificar patrones aún con datos incompletos o contaminados. También hacen notar que las redes MLP no exigen ninguna información *a priori* para clasificar un patrón. La principal desventaja para ellos es el hecho de que las redes MLP, una vez que han encontrado una relación entre datos de entrada y datos de salida, luego del entrenamiento, son como una caja negra. En cualquier caso, el éxito o fracaso asociados a la utilidad o la aplicabilidad de una red neuronal MLP, se ha asociado en gran medida de su aplicación específica y muy rara vez a una aplicación en general. En una aplicación que involucra el diseño de medicamentos (Gertrudes *et al.*, 2012), se presenta una comparación entre distintos métodos de aprendizaje de máquina utilizados con este fin. Uno de ellos es una red MLP, y los resultados en tal comparación para con ella son alentadores. En estos resultados se observa que no es sencillo preferir una SVM a una red MLP, pues en cuanto a sus resultados son ambas muy similares.

Además del problema de determinación de cuántas capas ocultas, y en cada capa, cuántas neuronas deben existir, existen otros aspectos relacionados con el uso de redes MLP que algunos autores consideran una eventual desventaja. Por ejemplo, en (Huynh *et al.*, 2008) se menciona que las principales desventajas de las redes MLP se refieren a la velocidad de aprendizaje, por un lado, y a la capacidad de generalizar, por otro. Los autores afirman que una máquina ELM tiene mejor desempeño en estos dos aspectos. El problema del lento aprendizaje luego es retomado por (Moraes, Valiati, & Gavião Neto, 2013) en un uso

comparativo de redes neuronales junto con SVM's, para clasificación de emociones incluidas en textos, además los autores concluyen que las redes neuronales MLP tienden a ser muy susceptibles a datos ruidosos, en contradicción con lo encontrado en (Vellido, 1999) para predicciones de metas financieras.

Por otro lado, en (Khan & Sahai, 2012) se muestra un estudio del uso de una red neuronal MLP en comparación con métodos estadísticos de regresión para una aplicación que implica predecir valores y clasificar pacientes. Es interesante cómo los autores concluyen que, a pesar de las dificultades en la interpretación del proceso llevado a cabo por la red neuronal, su capacidad inédita para encontrar relaciones entre conjuntos de datos es simplemente sorprendente, lo que les hace una mejor opción, en general, a los métodos tradicionales.

Los mismos autores en (Moraes *et al.*, 2013) coinciden con las desventajas que ya se comentaron en párrafos anteriores, sin embargo, agregan que, en general, las redes MLP tienen mejores resultados de clasificación que las SVM, al menos en ese campo de aplicación. En (Karlaftis & Vlahogianni, 2011) concluyen que, en lo referente a clasificación, en aplicaciones estadísticas como detección de incidentes de transporte las redes MLP tienen un desempeño superior al que presentan las técnicas estadísticas, por ejemplo, los modelos *logit*, los de análisis de discriminantes, regresión binomial negativa y regresión logística por escalón. Un enfoque muy interesante se presenta en (Valtierra-Rodriguez, De Jesus Romero-Troncoso, Osornio-Rios, & Garcia-Perez, 2014), sobre cómo acoplar dos redes neuronales, una para procesamiento de información, y otra conectada en serie, para clasificar los patrones que contienen información sobre el desempeño de una planta eléctrica, buscando clasificar las fallas en la planta. Aquí se demuestra cómo una red MLP clasifica de manera muy confiable patrones que representan ruido y fallas en la planta, y evitar así que la misma planta se congestione o falle por sobrecargas.

En una aplicación para las ciencias agro tecnológicas, en (Zhang, Wang, Ji, & Phillips, 2014), se ha diseñado un clasificador de frutas a partir de una red MLP. Esta red recibe como patrones de entrada los componentes principales extraídos luego de un procesamiento de imágenes, que incluye un cambio a escala de gris, una segmentación y una descripción de momentos sobre las formas simplificadas, todo lo anterior llevado a cabo sobre las fotografías de un conjunto de frutas. Los autores demuestran que, dado este pre procesamiento, el clasificador de frutas tiene un desempeño muy elevado, es decir, identifica correctamente las frutas de forma bastante confiable. De esta aplicación, se puede deducir que no existe claramente una diferencia entre el uso de una red MLP, y un clasificador basado en SVM's, en cuanto a la exactitud del clasificador. Sin embargo, en cuanto al tiempo de entrenamiento, las SVM tienden a entrenarse más rápido que una red MLP. En (Cunha Palácios, da Silva, Goedel, & Godoy, 2015) se muestran resultados para detección de diferentes fallas en motores de inducción utilizando seis diferentes clasificadores: k-Nearest Neighbors classifier, RIPPER (Rule Incremental Reduced Error Pruning), C4.5 Decision Tree, Naive Bayes, SVM y MLP. Se presentan ocho casos y en cinco de ellos las redes MLP tienen el mejor o segundo mejor desempeño en cuanto a exactitud. En los otros tres casos, todos relacionados con generalización, las redes MLP tienen el tercer o cuarto lugar en cuanto a exactitud. En dos de ellos, el desempeño se puede considerar pobre. En cuanto al tiempo de entrenamiento, las redes MLP mostraron el mayor tiempo requerido en todos los casos, tal como se esperaba. Todos los clasificadores tuvieron desempeño pobre, en al menos uno de los casos.

Conclusiones

Las redes neuronales MLP han sido utilizadas satisfactoriamente para la implementación de clasificadores de múltiples clases. Los principales aspectos que afectan el uso de una red MLP son: la arquitectura

exacta de la red, el método de entrenamiento y la aplicación específica. En todos los casos revisados, pareciera que es la aplicación específica la que decide finalmente cómo se desempeña la red y con qué parámetros debe funcionar, por lo que parece que bastaría con decidir en qué aplicación la red ha de funcionar y aprovechando la información local del problema, todas las particularidades de la red quedarían claramente definidas; aunque es necesario un análisis más profundo. Esto es aún un problema abierto, así como la mejor elección de cantidad de capas ocultas y la cantidad de neuronas en cada una de ellas. Igualmente, se requiere mayor investigación sobre los métodos de entrenamiento, para determinar claramente la elección específica. Además, en cuanto al desempeño de las redes neuronales MLP como máquinas clasificadoras, es difícil afirmar categóricamente cuando una red MLP es mejor o peor que alguna otra técnica. La comparación realizada en diferentes trabajos sobre el desempeño de diferentes máquinas clasificadoras ha sido asociada al campo en donde se aplica. Es por ello que pareciera ser que esto es un factor importante, aunque no se han encontrado resultados determinantes al respecto.

Referencias

- ALLWEIN, E. L., Schapire, R. E., & Singer, Y. 2001. Reducing Multiclass to Binary: A Unifying Approach for Margin Classifiers. *Journal of Machine Learning Research*, 1, 113–141. <http://doi.org/10.1162/15324430152733133>
- ANASTASSIOU, G. A. 2011. Multivariate sigmoidal neural network approximation. *Neural Networks*, 24(4), 378–386. <http://doi.org/10.1016/j.neunet.2011.01.003>
- ANGULO, C., Parra, X., & Català, A. 2003. K-SVCR. A support vector machine for multi-class classification. *Neurocomputing*, 55(1-2), 57–77. [http://doi.org/10.1016/S0925-2312\(03\)00435-1](http://doi.org/10.1016/S0925-2312(03)00435-1)
- BARRON, A. R. 1993. Universal Approximation Bounds for Superposition of a Sigmoid Function, 39(3), 930–945.
- BLUM, C., & Socha, K. 2005. Training feed-forward neural networks with ant colony optimization: An application to pattern classification. *HIS'05*, 6.
- CHATTOPADHYAY, S., & Chattopadhyay, G. 2008. Identification of the best hidden layer size for three-layered neural net in predicting monsoon rainfall in India. *Journal of Hydroinformatics*, 10(2), 181. <http://doi.org/10.2166/hydro.2008.017>
- CHE, Z.-G., Chiang, T.-A., & Che, Z.-H. 2011. Feed-forward neural networks training: A comparison between genetic algorithm and back-propagation learning algorithm. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 7(10), 5839–5850.

- CHEONG, S., Oh, S., & Lee, S. 2004. Support vector machines with binary tree architecture for multi-class classification. *Neural Information Processing - Letters and Reviews*, 2(3), 47–51. Retrieved from <http://logos.mokwon.ac.kr/pub/NIPLR2004.pdf>.
- CIREŠAN, D., Meier, U., & Schmidhuber, J. 2012. Multi-column Deep Neural Networks for Image Classification. *Cvpr*, 3642–3649. <http://doi.org/10.1109/CVPR.2012.6248110>
- CUNHA PALÁCIOS, R. H., da Silva, I. N., Goedel, A., & Godoy, W. F. 2015. A comprehensive evaluation of intelligent classifiers for fault identification in three-phase induction motors. *Electric Power Systems Research*, 127, 249–258. <http://doi.org/10.1016/j.epr.2015.06.008>.
- CYBENKO, G. 1989. Degree of approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of Control, Signals and Systems*, 9(3), 303–314. <http://doi.org/10.1007/BF02836480>.
- GALAR, M., Fernández, A., Barrenechea, E., Bustince, H., & Herrera, F. 2011. An overview of ensemble methods for binary classifiers in multi-class problems: Experimental study on one-vs-one and one-vs-all schemes. *Pattern Recognition*, 44(8), 1761–1776. <http://doi.org/10.1016/j.patcog.2011.01.017>.
- GARDNER, M. W., & Dorling, S. R. 1998. Artificial Neural Networks (the Multilayer Perceptron)—a Review of Applications in the Atmospheric Sciences, 32(14), 2627–2636.
- GERTRUDES, J. C., Maltarollo, V. G., Silva, R. a, Oliveira, P. R., Honório, K. M., & da Silva, a B. F. 2012. Machine learning techniques and drug design. *Current Medicinal Chemistry*, 19(25), 4289–97. <http://doi.org/10.2174/092986712802884259>.
- HAGAN, M. T., Demuth, H. B., & Beale, M. H. 1995. *Neural Network Design*, Boston, PWS Publishing Company. Retrieved from <http://books.google.ru/books?id=bUNJAAAACAAJ>.
- HAGAN, M. T., & Menhaj, M. B. 1994. Training feedforward networks with the Marquardt algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5(6), 989–993. <http://doi.org/10.1109/72.329697>.
- HARP, S. A., & Tariq, S. 1992. Optimizing neural networks with genetic algorithms. In *Proceedings of the 1992 INNS summer workshop* (pp. 41–43).
- HUANG, G. Bin, Chen, Y. Q., & Babri, H. a. 2000. Classification ability of single hidden layer feedforward neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 11(3), 799–801. <http://doi.org/10.1109/72.846750>
- HUANG, G. B. 2003. Learning capability and storage capacity of two-hidden-layer feedforward networks. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 14(2), 274–281. <http://doi.org/10.1109/TNN.2003.809401>.
- HUANG, G.-B., Wang, D. H., & Lan, Y. 2011. Extreme learning machines: a survey. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 2(2), 107–122. <http://doi.org/10.1007/s13042-011-0019-y>.
- HUYNH, H. T., Won, Y., & Kim, J.-J. 2008. An improvement of extreme learning machine for compact single-hidden-layer feedforward neural networks. *International Journal of Neural Systems*, 18(5), 433–441. <http://doi.org/S0129065708001695> [pii].
- IRANI, R., & Nasimi, R. 2011. Evolving neural network using real coded genetic algorithm for permeability estimation of the reservoir. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9862–9866. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.046>.
- JADAV, K., & Panchal, M. 2012. Optimizing Weights of Artificial Neural Networks using Genetic Algorithms, 1(10), 47–51.
- JAYALAKSHMI, T., & Santhakumaran, a. 2011. Statistical normalization and back propagation for classification. *International Journal of Computer ...*, 3(1), 1–5. Retrieved from <http://www.ijcte.org/papers/288-L052.pdf>.
- JING, L., Ji-hang, C., Jing-yuan, S., & Fei, H. 2012. Brief introduction of backpropagation (BP) neural network algorithm and its improvement. *Advances in Computer Science and Information Engineering*, 169, 553–558.
- JIN-SEON LEE, & Il-Seok Oh. 2003. Binary classification trees for multi-class classification problems. In *Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition, 2003. Proceedings.* (Vol. 1, pp. 770–774). IEEE Comput. Soc. <http://doi.org/10.1109/ICDAR.2003.1227766>.
- KARLAFTIS, M. G., & Vlahogianni, E. I. 2011. Statistical methods versus neural networks in transportation research: Differences, similarities and some insights. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(3), 387–399. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2010.10.004>.
- KHAN, K., & Sahai, A. 2012. A Comparison of BA, GA, PSO, BP and LM for Training Feed forward Neural Networks in e-Learning Context. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 4(7), 23–29. <http://doi.org/10.5815/ijisa.2012.07.03>.
- KUMAR, M. P. 2012. B A c k p r o p a g a t i o n L E a r n i n g a L g o r i t h m B A s e d O N L E v e n b e r g M A r q u a r d t, 393–398. <http://doi.org/10.5121/csit.2012.2438>.
- LANGE, T., Mosler, K., & Mozharovskiy, P. 2014. Fast nonparametric classification based on data depth. *Statistical Papers*, 55(1), 49–69. <http://doi.org/DOI10.1007/s00362-012-0488-4>.
- LEE, Y., Oh, S.-H., & Kim, M. W. 1993. An analysis of premature saturation in back propagation learning. *Neural Networks*, 6(5), 719–728. [http://doi.org/10.1016/S0893-6080\(05\)80116-9](http://doi.org/10.1016/S0893-6080(05)80116-9).
- LORENA, A. C., De Carvalho, A. C. P. L. F., & Gama, J. M. P. 2008. A review on the combination of binary classifiers in multiclass problems. *Artificial Intelligence Review*, 30(2008), 19–37. <http://doi.org/10.1007/s10462-009-9114-9>.
- MARTÍNEZ, J., Iglesias, C., Matias, J. M., Taboada, J., & Araújo, M. 2014. Solving the slate tile classification problem using a DAGSVM multiclassification algorithm based on SVM binary classifiers with a one-versus-all approach. *Applied Mathematics and Computation*, 230, 464–472. <http://doi.org/10.1016/j.amc.2013.12.087>.
- MAVROVOUNIOTIS, M., & Yang, S. 2015. Training neural networks with ant colony optimization algorithms for pattern classification. *Soft Computing*, 19(6), 1511–1522. <http://doi.org/10.1007/s00500-014-1334-5>.
- MAYORAZ, E., & Alpaydin, E. 1999. Support vector machines for multi-class classification. *Engineering Applications of Bio-Inspired Artificial ...* Retrieved from <http://link.springer.com/chapter/10.1007/BFb0100551>.
- MAZUROWSKI, M. A., Habas, P. A., Zurada, J. M., Lo, J. Y., Baker, J. A., & Tourassi, G. D. 2008. Training neural network classifiers for medical decision making: The effects of imbalanced datasets on classification performance. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 19(3), 427–436. <http://doi.org/10.1016/j.neunet.2007.12.031>.
- MISRA, J., & Saha, I. 2010. Artificial neural networks in hardware: A survey of two decades of progress. *Neurocomputing*, 74(1-3), 239–255. <http://doi.org/10.1016/j.neucom.2010.03.021>.
- MORAES, R., Valiati, J. F., & Gavião Neto, W. P. 2013. Document-level sentiment classification: An empirical comparison between SVM and ANN. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 621–633. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.07.059>.
- MÜLLER, K. R., Mika, S., Rätsch, G., Tsuda, K., & Schölkopf, B. 2001. An introduction to kernel-based learning algorithms. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 12(2), 181–201. <http://doi.org/10.1109/72.914517>.
- Ou, G., & Murphey, Y. L. 2007. Multi-class pattern classification using neural networks. *Pattern Recognition*, 40(1), 4–18. <http://doi.org/10.1016/j.patcog.2006.04.041>

- PANCHAL, G., Ganatra, A., Kosta, Y., & Panchal, D. 2011. Behaviour analysis of multilayer perceptrons with multiple hidden neurons and hidden layers. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 3(2), 332–337. Retrieved from <http://www.ijcte.org/papers/328-L318.pdf>
- SHEELA, K. G., & Deepa, S. N. 2013. Review on methods to fix number of hidden neurons in neural networks. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013. <http://doi.org/10.1155/2013/425740>
- SINGH, A. K. A. K., Tiwari, S., & Shukla, V. P. 2012. Wavelet based Multi Class image classification using Neural Network. *International Journal of Computer Applications*, 37(4), 21–25. Retrieved from <http://www.academia.edu/download/30872301/pxc3876555.pdf>
- STATHAKIS, D. 2009. How many hidden layers and nodes? *International Journal of Remote Sensing*, 30(8), 2133–2147. <http://doi.org/10.1080/01431160802549278>
- TAX, D. M. J., & Duin, R. P. W. 2002. Using two-class classifiers for multiclass classification. *Object Recognition Supported by User Interaction for Service Robots*, 2, 124–127. <http://doi.org/10.1109/ICPR.2002.1048253>
- THABTAH, F., Cowling, P., & Peng, Y. 2005. MCAR: multi-class classification based on association rule. *International Conference on Computer Systems and Applications*, 1–7. <http://doi.org/10.1109/AICCSA.2005.1387030>
- VALTIERRA-RODRIGUEZ, M., De Jesus Romero-Troncoso, R., Osornio-Rios, R. A., & Garcia-Perez, A. 2014. Detection and classification of single and combined power quality disturbances using neural networks. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(5), 2473–2482. <http://doi.org/10.1109/TIE.2013.2272276>
- VELLIDO, a. 1999. Neural networks in business: a survey of applications (1992–1998). *Expert Systems with Applications*, 17(1), 51–70. [http://doi.org/10.1016/S0957-4174\(99\)00016-0](http://doi.org/10.1016/S0957-4174(99)00016-0)
- WINDEATT, T., & Ghaderi, R. 2003. Coding and decoding strategies for multi-class learning problems. *Information Fusion*, 4(1), 11–21. [http://doi.org/10.1016/S1566-2535\(02\)00101-X](http://doi.org/10.1016/S1566-2535(02)00101-X)
- WU, T.-F., Lin, C.-J., & Weng, R. C. 2004. Probability {Estimates} for {Multi}-class {Classification} by {Pairwise} {Coupling}. *J. Mach. Learn. Res.*, 5, 975–1005. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1005332.1016791>
- YEUNG, D.-Y. Y. D.-Y., & Chow, C. 2002. Parzen-window network intrusion detectors. *Object Recognition Supported by User Interaction for Service Robots*, 4, 385–388. <http://doi.org/10.1109/ICPR.2002.1047476>
- ZHANG, Y., Wang, S., Ji, G., & Phillips, P. 2014. Fruit classification using computer vision and feedforward neural network. *Journal of Food Engineering*, 143, 167–177. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.001>

Este artículo es citado así:

Majalca-Martínez, R. y P. R. Acosta-Cano de los Ríos. 2015. Una revisión de redes MLP como clasificadores de múltiples clases. *TECNOCENCIA Chihuahua* 9(3): 148-159.

Resumen curricular del autor y coautores

RICARDO MAJALCA MARTÍNEZ. Terminó su licenciatura en 1997, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero en Sistemas Computacionales opción Hardware por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Realizó su posgrado en Chihuahua, México, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Electrónica en el área de Computación y Procesamiento Digital de Señales en el año 2000, por el Instituto Tecnológico de Chihuahua. Actualmente cursa su tercer semestre en el Doctorado en Ciencias en Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de Chihuahua. Desde el año 2001 labora en la Facultad de Ingeniería de la UACH y posee la categoría de Académico titular C. Su área de especialización son las ciencias computacionales, en general, y, en particular, el aprendizaje de máquina.

PEDRO RAFAEL ACOSTA CANO DE LOS RÍOS. Profesor e investigador en el grupo de Automática e Informática Industrial de la División de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Chihuahua, México. Recibió el título de doctor por la Universidad Politécnica de Valencia, España en 2005. Es ingeniero industrial en electrónica y maestro en ciencias en ingeniería electrónica por el Instituto Tecnológico de Chihuahua. Sus intereses actuales en investigación están en el área de control automático dentro de la teoría y aplicación de control de sistemas no lineales y particularmente en control por modos deslizantes.

Caracterización de productos de corrosión del acero al bajo carbono en atmósferas contaminadas por compuestos de azufre

Characterization of corrosion products of low carbon steel exposed to atmospheres contaminated by sulfur compounds

JORGE LORENZO GÓMEZ-PASCUAL^{1,2}, ILEANA RIZO-ALVAREZ¹

Recibido: Septiembre 4, 2015

Aceptado: Enero 29, 2016

Resumen

El presente trabajo forma parte de un estudio realizado para determinar la agresividad corrosiva de determinadas atmósferas sobre el acero al bajo carbono, donde prevalece la contaminación por compuestos de azufre y el aerosol marino. Se realizó el estudio de los productos de corrosión que se formaron a diferentes tiempos de exposición a la atmósfera, y para esto se emplearon diferentes técnicas analíticas tales como: difracción de rayos X de polvos cristalinos (DRX), espectrometría infrarroja (FTIR), microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectroscopia de rayos X por dispersión de energía (EDX). Entre los productos de corrosión identificados por DRX y FTIR, se encontraron los óxidos y oxihidróxidos de hierro hidratados: goethita, lepidocrocita, magnetita y akaganeita, distribuidos en diferentes fases a lo largo de todo el período de exposición del metal y se determinó así mismo su relación con la velocidad de corrosión. Se identificaron además las morfologías correspondientes mediante el empleo de MEB y se destaca la presencia de los contaminantes: azufre, cloro y calcio, según el análisis de elementos obtenidos por EDX.

Palabras clave: corrosión atmosférica, productos de corrosión, difracción de rayos X, espectrometría infrarroja, microscopía electrónica de barrido.

Abstract

The present research is part of a study carried out to determine the corrosive aggressiveness of certain atmospheres upon low carbon steel, where the contamination caused by sulfur compounds and the marine aerosol prevails. It was carried out the study of corrosion products that were formed at different times of exposure to the atmosphere. For this, different analytical techniques were employed, such as: crystalline powders X-ray Diffraction (XRD), Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-ray spectroscopy energy dispersive (EDX). As a result, it was possible to identify corrosive products like goethite, lepidocrocite, magnetite and akaganeite by means of the XRD and FTIR techniques, distributed in different stages throughout the whole period of exposure of the metal. Likewise, it was possible to establish their relationship with the corrosion rate. Among the corrosion products identified by XRD and FTIR, oxides and oxyhydroxides hydrated iron found: goethite, lepidocrocite, magnetite and akaganeite, distributed in different phases throughout the entire period of exposure to the metal and determined likewise his regarding corrosion rate. Besides, corresponding morphologies were also identified by using SEM. The presence of some contaminants stands out: sulfur, chlorine and calcium, according to the analysis of elements obtained by EDX.

Keywords: atmospheric corrosion, corrosion products, infrared spectrometry, X ray diffraction, scanning electron microscopy.

¹ Centro de Investigación del Petróleo. Churrucá # 481, Cerro. La Habana, Cuba. C. P. 12000. Teléfono: 76403560. Fax: (537) 7666021.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: jgomez@ceinpet.cupet.cu.

Introducción

La corrosión atmosférica es un proceso de naturaleza electroquímica que se manifiesta por la degradación de un material metálico expuesto a un medio ambiente agresivo dada su composición química. El fenómeno de corrosión a la atmósfera ha sido y es tema de numerosas investigaciones para su prevención y control debido a las pérdidas económicas que se generan (Tomashov, 1971).

Los compuestos de azufre y las sales de iones cloruro, principalmente las de sodio, son los agentes corrosivos más abundantes en las atmósferas costeras. Los iones cloruros se incorporan a la misma desde el mar y sus efectos son más acentuados cerca de la línea costera, donde el aerosol marino transporta cantidades notables de dicho contaminante. A mayores distancias del mar, la contaminación atmosférica depende de la presencia de industrias y de núcleos poblacionales. En el caso que se valora, el principal contaminante por su frecuencia e incidencia sobre el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero al carbono se atribuye al SO_2 , que proviene de la combustión de sólidos y líquidos que contengan azufre (Tomashov, 1971).

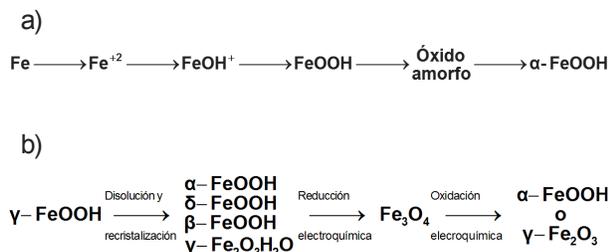
La acción conjunta de los factores meteorológicos y contaminantes atmosféricos, determinan, la intensidad y variación de la naturaleza de los procesos corrosivos. Cuando actúan simultáneamente, aumentan sus efectos, aunque existen otros factores que influyen también en el tipo de corrosión como son: la selección óptima del material metálico, condiciones de diseño y las propiedades del óxido que se forma (Haces, 1985; Mertel, 1985).

El 90% de las instalaciones de la industria petrolera ubicadas prácticamente en la línea costera se deterioran constantemente por el fenómeno de la corrosión atmosférica. La propagación del fenómeno en el tiempo provoca serias dificultades tecnológicas durante el procesamiento de la materia prima. Ello constituye un problema que debe preverse y solucionarse una vez conocidas las causas que lo originan.

En la industria petrolera (pozos y baterías de tratamientos de crudo), también está presente el sulfuro de hidrógeno (H_2S) como otro contaminante atmosférico. Es por eso que cobra importancia evaluar la agresividad corrosiva que se genera sobre el acero al carbono mediante la determinación y evaluación de la velocidad de corrosión en las regiones seleccionadas que presentan las características antes mencionadas (Rizo *et al.*, 2013).

Los principales productos de corrosión reportados en la literatura son oxihidróxidos de hierro (III) hidratados de naturaleza cristalina y en ocasiones amorfa, los que se forman sobre la superficie del acero y se denominan: lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$) y goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$). Estudios realizados acerca de las morfologías de estos productos de corrosión han establecido que la lepidocrocita se forma como glóbulos cristalinos pequeños (cristales arenosos) o como placas finas (estructuras floridas). Se plantea en una primera etapa la aparición de $\gamma\text{-FeOOH}$ que se transforma con el tiempo de exposición en $\alpha\text{-FeOOH}$, dado que esta última es termodinámicamente más estable y presenta la propiedad de nuclearse y crecer sobre la superficie de la cristalita ($\delta\text{-FeOOH}$), la cual incluso llega hasta la formación de la fase hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). En aquellas regiones donde es característica la contaminación por iones cloruros (aerosol marino), se aprecia también la formación de: magnetita (Fe_3O_4), maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) y akaganeita ($\beta\text{-FeOOH}$), productos todos indicativos de un estado avanzado en la corrosión del metal (Misawa, 1974; Pacheco y Teixeira, 1990; Raman *et al.*, 1991; Flores, 1994; Morcillo, 1999; Gómez, 2000; Ngoc-Lan *et al.*, 2006; Hernández, 2007; Corvo *et al.*, 2008; Li Q *et al.*, 2008; Castañeda, 2009; Yuantai *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2013).

Figura 1. Mecanismo propuesto por Misawa (a) y mecanismo propuesto por Raman (b).



Una evolución acelerada en la formación de goethita ofrece una medida de la alta agresividad de la zona y cuanto mayor sea la rapidez de su evolución, superior se hará la contaminación que catalogará la misma. Se determinó además que la presencia de compuestos azufrados representa un incremento en la velocidad de corrosión, de modo que su efecto es más acusado que el correspondiente a la presencia de los iones cloruros, aunque el efecto conjunto de ambos contaminantes repercute de forma favorable sobre la velocidad de corrosión del metal.

El análisis de los productos de corrosión formados sobre la superficie del acero, ha sido y es objeto de estudio por diferentes autores mediante el empleo de diversas técnicas analíticas, las cuales se complementan unas con otras. Entre ellas se citan: difracción de rayos X (DRX), microscopía óptica (MO), microscopías electrónicas de barrido (MEB) y transmisión (MET), espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), por sus siglas en inglés, espectroscopia Mossbauer y análisis térmico diferencial (ATD), entre otras (Pacheco y Teixeira, 1990; Raman *et al.*, 1991; Gómez, 2000; Santana y González, 2002; Leiva, 2003; Hernández, 2007; Corvo *et al.*, 2008; Castañeda, 2009).

Es objeto de esta investigación, caracterizar productos de corrosión que se formaron sobre un acero al carbono expuesto en una estación ubicada en las inmediaciones de una zona de extracción de petróleo, para un tiempo de exposición a la atmósfera de hasta tres años,

para lo cual se emplearon diferentes técnicas de análisis instrumental. El interés de que se estudie la corrosión del acero en la citada localidad en particular, se atribuye a que dicha estación se encuentra bajo el efecto de una contaminación característica, motivada por la presencia de compuestos azufrados, por una parte, así como su proximidad a la costa Norte de Cuba en la que influye el aerosol marino por la otra. De esta manera, se comparan los resultados con los de otra estación de referencia donde solo se manifiesta la contaminación por iones cloruros.

Materiales y métodos

En nuestro país no se han reportado resultados referente a cómo influyen los contaminantes atmosféricos provenientes de la industria petrolera sobre el acero al carbono tan ampliamente utilizado en sus instalaciones. Los sitios de exposición se escogieron teniendo en cuenta la alta contaminación por compuestos de azufre que existía en la zona que se estudia (Rizo *et al.*, 2013).

A continuación se describe la ubicación de los sitios donde se realizó el ensayo:

E-1: Estación de referencia. Situada a unos 50 m de la costa Norte, con marcada influencia de contaminación por iones Cl⁻ y ausencia notable de contaminación por compuestos de azufre.

E-2: Estación de estudio. A la distancia de 300 m de la costa Norte, con alta contaminación por compuestos azufrados e influencia del aerosol marino.

Para determinar la velocidad de corrosión se utilizaron probetas de dimensiones: 100 mm x 150 mm x 4 mm, cuya composición química se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición química del acero al carbono.

Elemento	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
Composición (%)	99,3	0,09	0,01	0,42	0,005	0,014	0,01	0,02	0,12	0,01

El resultado se obtuvo mediante la técnica de Espectrometría Multicanal Digital, la cual permitió determinar la composición química del acero, que se corresponde con la de un acero hipoeutectoide bajo en carbono de acuerdo con la Norma ASTM A366.

Los datos de velocidad de corrosión que se reportan corresponden a los períodos de tiempo siguientes: Semestrales, Anuales y Larga duración (6, 12, 24 y 36 meses) (Rizo *et al.*, 2013).

Las probetas se prepararon mecánicamente y se identificaron por estampado mecánico. Se desengrasaron con agua y detergente caliente, después se sumergieron en HCl al 50%, se enjuagaron con agua destilada e inmediatamente se secaron al aire, después se pesaron en balanza analítica con la precisión de 0.001 g, se colocaron en la desecadora y se expusieron en las estaciones de ensayo por triplicado, como se expresa en la Norma ISO 8565 (Norma ISO-8565, 1992), además, se colocaron dos probetas con el objetivo de realizar el estudio de los productos de corrosión.

Una vez finalizado el período de exposición, las probetas corroidas se sometieron a tratamiento químico para la eliminación de productos de corrosión, según lo especificado en la Norma ISO 8407 (Norma ISO/DIS 8407.3, 1986). A las dos probetas expuestas, adicionalmente se les realizó la remoción mecánica de los productos de corrosión obtenidos del anverso y reverso de la superficie, de manera conjunta para su caracterización.

Como método de captación del contaminante SO₂ se utilizó el de la filtrasita, y para los iones cloruros el del paño seco. Estos colectores se expusieron y se retiraron mensualmente en las dos estaciones de ensayo, luego se analizaron en el laboratorio según las normas cubanas: NC 12-01-08 y NC 12-01-09 (Norma Cubana NC-12-01-08, 1988; Norma Cubana NC-12-01-09, 1988).

Los productos en forma de polvos o capas adheridos sobre las probetas metálicas de acero, se caracterizaron mediante diferentes técnicas de análisis instrumental, las cuales se relacionan a continuación.

Las fases de las capas de óxidos se determinaron mediante DRX, utilizando un difractor marca PANalytical modelo X'Pert PRO con las siguientes condiciones: ánodo de Cu ($\lambda=1,5406 \text{ \AA}$) operado a: 45 kV - 40 mA, tamaño de paso: 0,02°; tiempo por paso: 40 s en un intervalo angular de: 4°- 70° en 2 Theta. La identificación cualitativa de las fases presentes en los productos de corrosión se realizó con ayuda de la cartoteca ASTM (Cartoteca JCPDF, 1988).

Se estudió la morfología de los óxidos presentes en las probetas mediante el microscopio electrónico de barrido PHILIPS, modelo XL 30 con filamento de tungsteno, detector de EDX marca EDAX. El área de muestra analizada fue de 1 cm², se seleccionaron zonas bien diferenciadas de las probetas (con pocos y abundantes productos de corrosión). Se tomaron micrografías a diferentes aumentos, según el tamaño y tipo de los productos. Con el detector de EDX y con la microsonda dispersiva en longitud de onda acoplado al MEB se identificaron los elementos presentes en los productos de corrosión, barriendo desde 230 hasta 150 nm.

Las muestras para el estudio por FTIR se analizaron por la técnica de pastilla en condiciones semicuantitativas, mezclando 0.001 g de muestra con 0.06 g de KBr. Los espectros se obtuvieron en espectrómetro FTIR modelo Génesis, de la firma Mattson. El procesamiento de los espectros se realizó con el software Nicolet's OMNIC, versión 5.0a (Librería Nicolet FTIR).

Resultados y discusión

La clasificación de la agresividad corrosiva de la atmósfera se realizó teniendo las dos variantes establecidas en la Norma ISO 9223 (Norma ISO 9223, 1992). Según la velocidad

de corrosión obtenida en las dos estaciones de ensayo durante el primer año de estudio, la agresividad de la atmósfera se clasifica como muy elevada (C5) (Cuadro 2). Con relación a los niveles de deposición de iones cloruro, la estación E-1 se clasificó de S_2 ($60 < S \leq 300$ mg/m² d), mientras que la estación E-2 se clasificó de S_1 ($3 < S \leq 60$ mg/m² d). En cuanto a la contaminación por dióxido de azufre es la estación E-2 la que posee los mayores valores, clasificándose de P_2 ($35 < P \leq 80$ mg/m² d), lo que se corresponde con el medio en que se encuentra ubicada y la estación E-1 de P_1 ($10 < P \leq 35$ mg/m² d) (Cuadro 2).

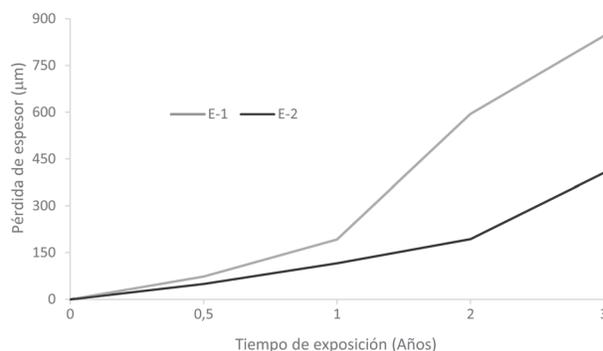
Cuadro 2. Resultados de velocidad de corrosión anual.

Variables	Velocidad corrosión Anual	
E-1		
Corrosión (µm/año)	191.00	C5
Cl ⁻ (mg/m ² d)	68.82	S_2
SO ₂ (mg/m ² d)	18.06	P_1
E-2		
Corrosión (µm/año)	116.00	C5
Cl ⁻ (mg/m ² d)	37.21	S_2
SO ₂ (mg/m ² d)	39.75	P_2

Se grafican los resultados de pérdida de espesor (µm) en el tiempo de exposición para cada estación de ensayo (Figura 2). En general, la pérdida de espesor en el acero al carbono es similar en ambos sitios de exposición, crece en el tiempo. Sin embargo, en la estación E-1 (ambiente marino) es más pronunciado este efecto que en la estación E-2 (ambiente marino-industrial) (Rizo *et al.*, 2013).

La interacción entre la atmósfera como medio corrosivo más amplio con la superficie de los materiales metálicos conducen a los procesos de corrosión. Estos procesos ocurren a través de las películas formadas por los diversos productos corrosión del metal, que se forman espontáneamente por la reacción con las sustancias agresivas de la atmósfera.

Figura 2. Pérdida de espesor del acero al carbono en dos estaciones de ensayo en función del tiempo de exposición.

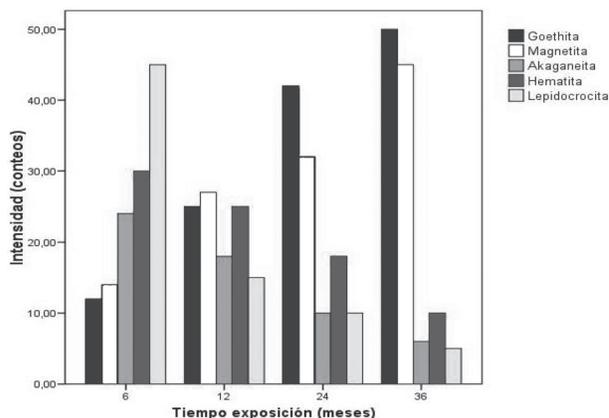


El efecto barrera de los productos de corrosión que se generan frente a un ambiente dado depende de las características y propiedades de las películas que lo integran. Sus propiedades, dígame espesor, uniformidad, compacidad, porosidad, solubilidad, fragilidad y adherencia, influyen en la velocidad de corrosión y la morfología del metal subyacente (Raman *et al.*, 1991; Yuntai *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2013).

El estudio de los productos de corrosión mediante el empleo de diferentes técnicas de análisis instrumental para cada una de las estaciones estudiadas se presenta a continuación.

Los productos de corrosión que se identificaron por DRX en la estación E-1 y los correspondientes difractogramas para cada tiempo de exposición del metal se muestran en las figuras 3 y 4.

Figura 3. Resultados obtenidos por DRX en E-1.



Los productos mayoritarios que se forman en E-1 son: lepidocrocita, goethita, magnetita y akaganeita, estos últimos se asocian fundamentalmente a la presencia de contaminación por iones cloruros como una consecuencia directa de la cercanía a la costa.

Aunque solo se realizaron mediciones semicuantitativas, la lepidocrocita aparece en mayor concentración a menores tiempos de exposición, luego, la misma decrece y entonces ocurre un aumento de la goethita, cuestión esta que destaca un aumento de la agresividad con el tiempo en esta estación de ensayo (Haces, 1985; Mertel, 1985; Gómez, 2000; Corvo *et al.*, 2008).

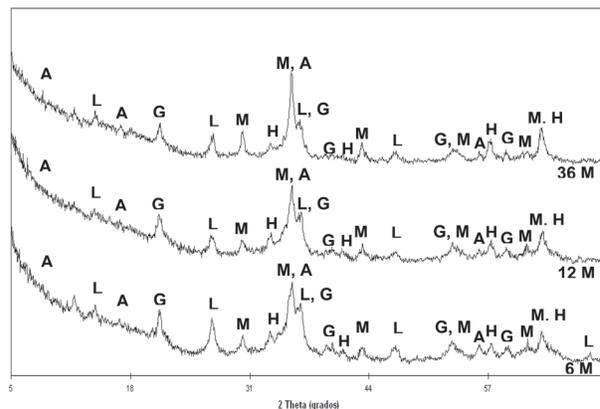
En los difractogramas se aprecia la formación de magnetita con picos agudos y estrechos, ya desde el primer año de exposición a la atmósfera, la cual incrementa su intensidad con el transcurso del tiempo, según mecanismo propuesto por Raman, con lo cual se corrobora el carácter altamente agresivo que se manifiesta en la citada estación.

Otro compuesto que puede identificarse es la forma hidratada de la maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$), que al presentar una similar estructura cúbica con parámetros de celdas similares al de la magnetita (espinelas inversas), no posibilita su diferenciación por DRX, debiendo emplearse en este caso la espectrometría Mossbauer.

Se señala además la formación de la fase $\beta\text{-FeOOH}$, característica de zonas costeras con altos contenidos de iones cloruros, la cual se propone que se forme en lugar de la goethita y su presencia debe estar asociada a la formación de magnetita en la herrumbre, lo cual se encuentra en estrecha relación con una elevada velocidad de corrosión en esta estación.

Aparece también como un resultado novedoso en esta investigación, la formación de la fase hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), óxido termodinámicamente estable, poco reportado en la literatura como producto de corrosión del acero bajo aleado en la atmósfera (Caroteca TCPDF, 1988; Librería Nicolet FTIR).

Figura 4. Difractogramas de productos de corrosión en E-1.



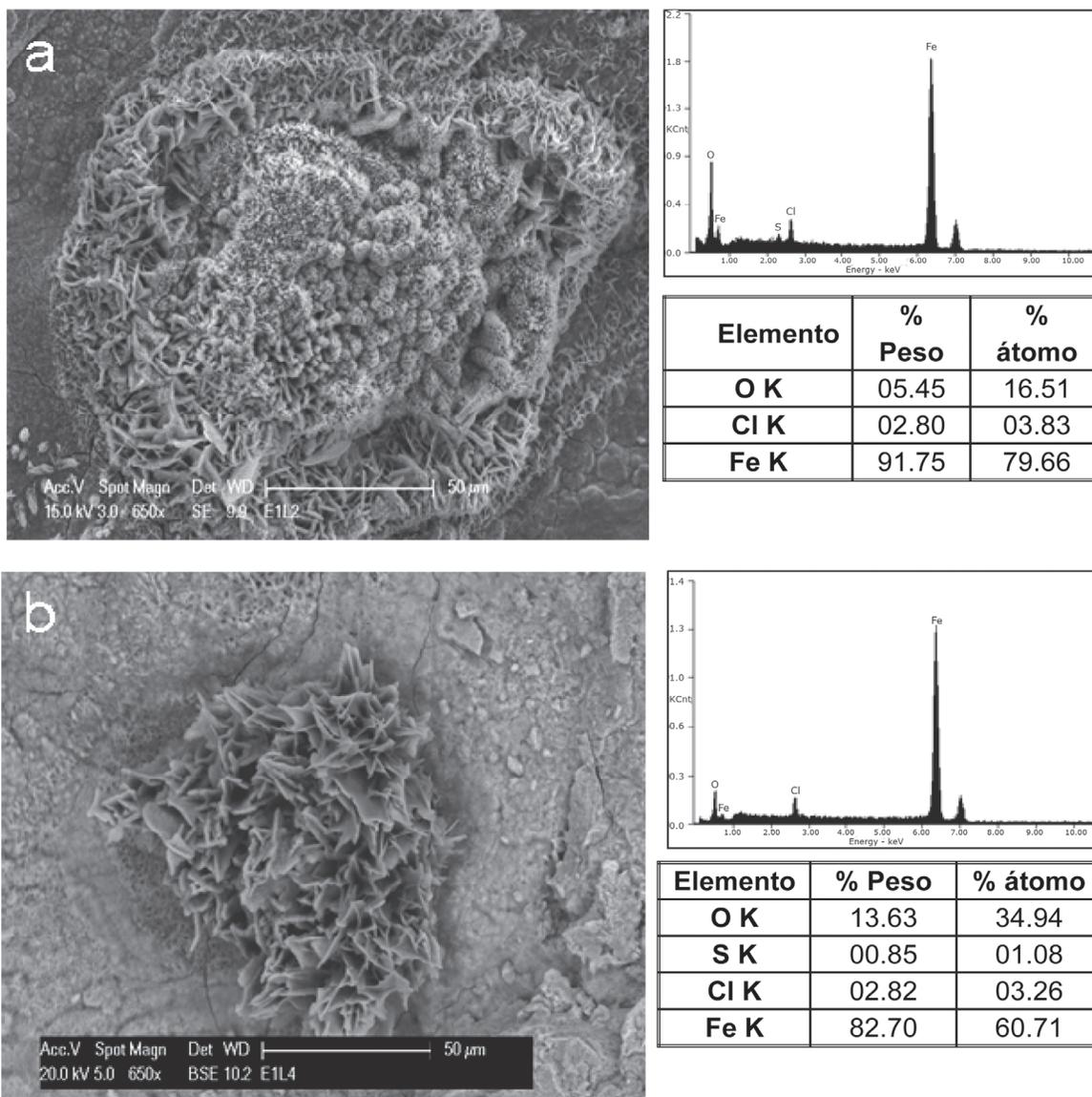
Fases cristalinas identificadas por DRX: L= lepidocrocita, G = goethita, M = magnetita, H = hematita, A = akaganeita.

En las micrografías de las Figuras 5a y 5b se observa el grado de deterioro que experimentaron las probetas en la estación E-1. Esta película es porosa y desprotege la superficie del metal base, favoreciendo la captación de contaminantes entre las cavidades, que junto a la humedad forman un electrolito que acelera el proceso corrosivo.

Se produce el crecimiento de núcleos de goethita a expensas del hierro disuelto procedente de la lepidocrocita, lo cual genera la formación de pequeñas agujas en forma de «motas de algodón». Aparecen además estructuras aciculares difusas, esponjosas y se presentan numerosos cráteres con partículas de color negro en su interior, lo que se atribuye a la fase magnetita, la cual se identificó por DRX (Jaen y Araque, 2006).

El análisis EDX de la película de óxido formada, revela la presencia del Fe y O en un alto porcentaje atómico en ambos casos, lo cual pone en evidencia la formación de oxihidróxidos de hierro ya identificados por DRX. Como contaminantes se destaca la presencia del Cl en ($\approx 3 - 4\%$ at.) y se observa además el S ($\approx 1\%$ at.), lo cual indica una elevada deposición de iones cloruros y sulfatos provenientes del aerosol marino, lo cual ya se encuentra reportado por este mismo autor en esta estación (Gómez, 2000).

Figura 5. (a) Morfología de producto de corrosión primer (a) y tercer (b) año exposición.

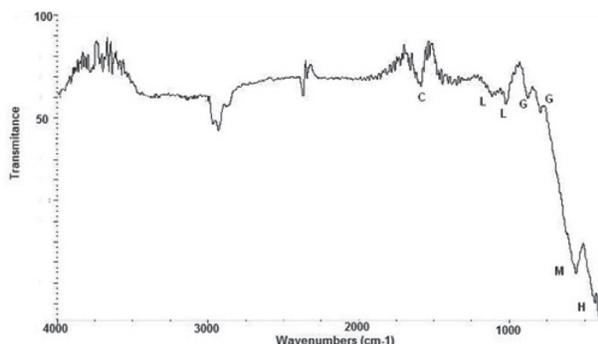


En la Figura 6 se expone el resultado obtenido mediante espectrometría FTIR, luego de transcurrir tres años de exposición del metal a la atmósfera.

Se identifican mediante FTIR, las bandas de absorción características de las diferentes fases de oxihidróxidos de hierro, que ya se detectaron por DRX. Este método tiene la ventaja de poder caracterizar ambos tipos de compuestos, cristalinos y amorfos. Se observa la presencia de lepidocrocita, que se caracteriza por dos

picos de absorción, con bandas de deformación Fe-OH localizadas en 1020 y 1152 cm^{-1} respectivamente. De igual forma ocurre con las bandas de deformación Fe-OH de la goethita, las cuales se ubican en 890 y 798 cm^{-1} . Aparece además como un hombro, una banda fuerte e intensa en 560 cm^{-1} , la cual se asocia con la formación del compuesto magnetita (enlace Fe-O), así como una banda de poca intensidad en 467 cm^{-1} atribuible a la hematita, lo cual corrobora lo obtenido por DRX.

Figura 6. Espectro FTIR de productos de corrosión en E-1.

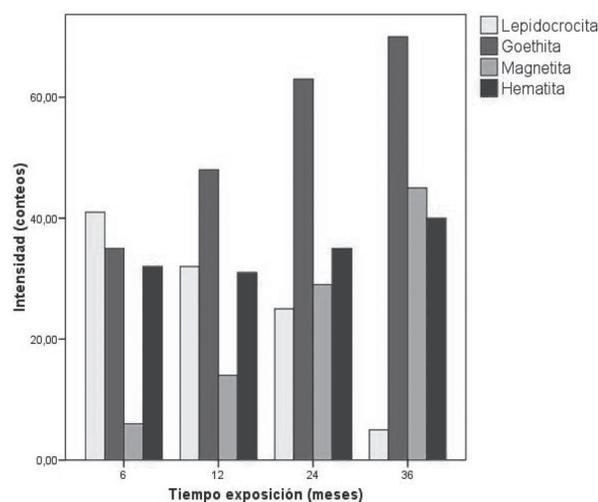


Fases identificadas por FTIR: L= lepidocrocita, G = goethita, M = magnetita, H = hematita, C = carbonatos.

En el espectro se observa la presencia de bandas intensas asociadas a carbonatos (1500 cm^{-1}), lo cual confirma la aparición de estos compuestos como parte de la contaminación presente en el polvo atmosférico (carbonatos de calcio y/o magnesio, manganeso), presentes además en el aerosol marino.

En las Figuras 7 y 8 se grafican las fases de productos de corrosión que se identificaron por DRX en la estación E-2 y los difractogramas para los diferentes tiempos de exposición del metal a la atmósfera.

Figura 7. Resultados de DRX en E-2.



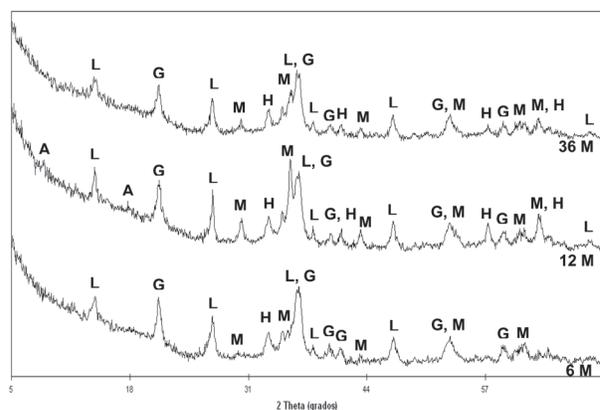
Los productos de corrosión que se identifican en una mayor concentración en la estación E-2 son: lepidocrocita, goethita y

magnetita. No se observa la presencia de la fase akaganeita, lo cual nos brinda información en relación a la menor agresividad corrosiva en esta estación si se compara con los resultados obtenidos en E-1.

Al igual que en E-1, la fase lepidocrocita aparece en mayor concentración a menores tiempos de exposición, la misma decrece y en su lugar ocurre un aumento de la goethita.

En los difractogramas se observa la formación de lepidocrocita y goethita con picos agudos y estrechos desde el primer año de exposición a la atmósfera, los cuales disminuyen su intensidad con el transcurso del tiempo, según mecanismo propuesto por Misawa, lo cual posibilita la información en cuanto al carácter agresivo, aunque ligeramente atenuado, como causa de la naturaleza de los productos de corrosión que se forman en esta estación (Morcillo, 1999).

Figura 8. Difractogramas de productos de corrosión en E-2.



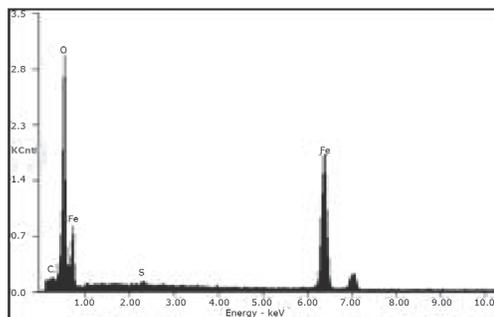
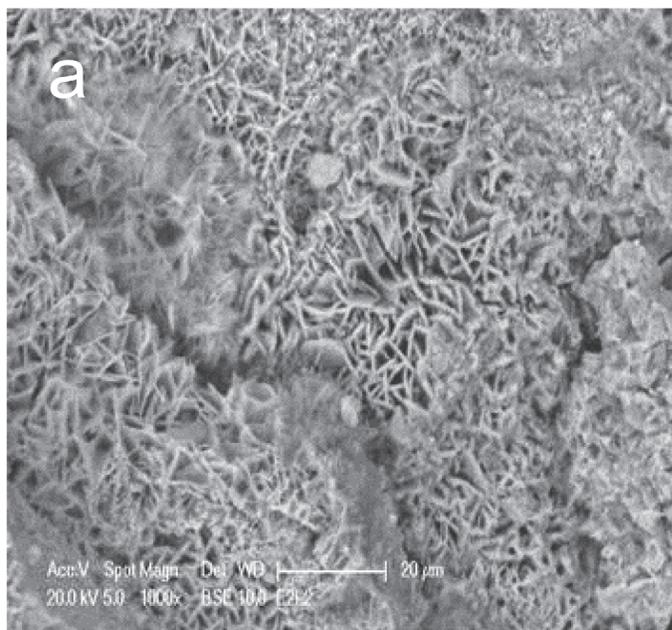
Fases cristalinas identificadas por DRX: L = lepidocrocita, G = goethita, M = magnetita, H = hematita, A = akaganeita.

Las morfologías de los productos de corrosión que se forman en E-2, presentan una estructura superficial menos porosa y con escasas grietas, son mucho más adherentes y compactos que los generados en la estación E-1, resultado que ya ha sido reportado por otros autores (Rosales, 1997; Jaen y Araque, 2006; Castaño *et al.*, 2010; Jaen *et al.*, 2011; Díaz, 2013).

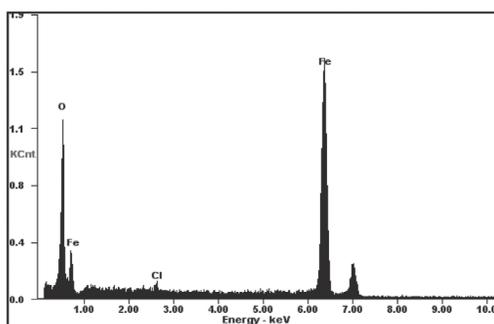
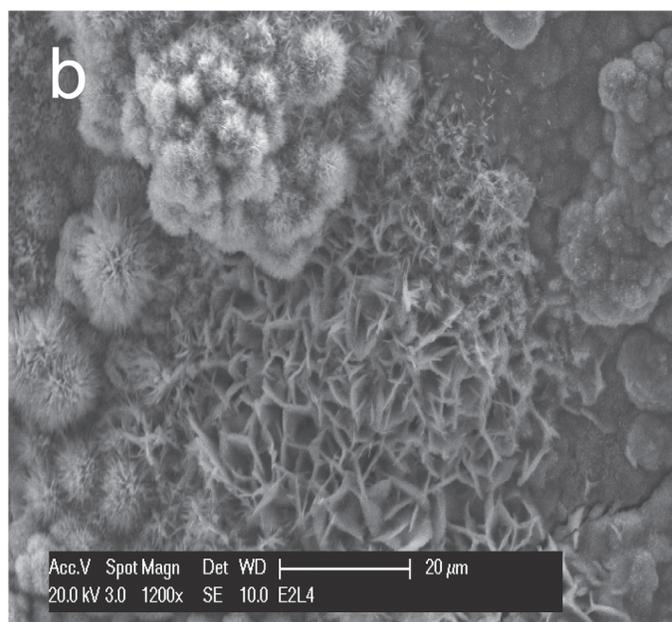
Las micrografías obtenidas como resultado del análisis de productos de corrosión por MEB, se muestran a continuación (Figuras 9a y 9b). El análisis EDX de la película de óxido formada, revela la presencia del Fe y O en un alto porcentaje atómico en ambos casos, lo cual evidencia la formación de los oxihidróxidos de hierro ya identificados por DRX. Como

contaminantes se destaca la presencia del Ca y Mn en $\approx 2\%$ at. y se cuantifica además el S ($\approx 1\%$ at.), que informa en relación con la deposición de compuestos presentes en el polvo atmosférico (material particulado), sulfatos provenientes del aerosol marino y compuestos azufrados propios del proceso de prospección petrolera en la zona.

Figura 9. Morfología de productos de corrosión primer (a) y tercer (b) año de exposición.



Elemento	% Peso	% átomo
C K	04.73	10.98
O K	33.24	57.86
S K	00.59	00.51
FeK	61.44	30.64

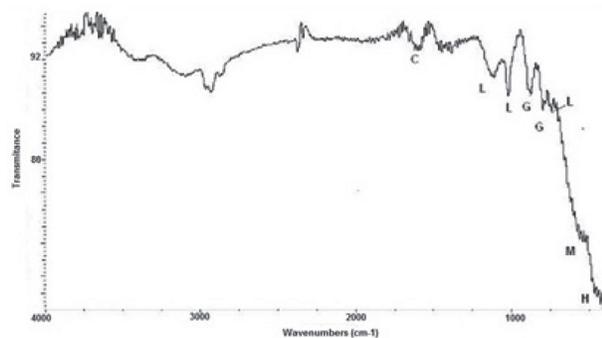


Elemento	% Peso	% átomo
O K	19.25	45.27
ClK	00.89	00.94
FeK	79.86	53.79

Es posible identificar mediante FTIR, las bandas de absorción características de las diferentes fases de oxihidróxidos de hierro, que ya se detectaron por DRX. Se observa la presencia de lepidocrocita, que se identifica por sus dos picos de absorción característicos con bandas de deformación Fe-OH localizadas en 1020 y 1152 cm^{-1} . De igual forma ocurre con las bandas de deformación Fe-OH de la goethita, que se ubican en 890 y 798 cm^{-1} . Se observa además como un hombro, una banda fuerte e intensa en 560 cm^{-1} , asociada con la formación del compuesto magnetita (enlace Fe-O), así como una banda de poca intensidad que aparece en 467 cm^{-1} atribuible a la hematita. (Figura 10)

En el espectro se observan, además, bandas intensas correspondientes a los carbonatos (1500 cm^{-1}), lo cual confirma la aparición de estos compuestos como parte de la contaminación ambiental presente en el polvo atmosférico (carbonatos de calcio y/o magnesio, manganeso).

Figura 10. Espectro FTIR de productos de corrosión en E-2.



Fases identificadas por FTIR: L= lepidocrocita, G = goethita, M = magnetita, H = hematita, C = carbonatos.

Conclusiones

De los resultados del análisis de fases por DRX se plantea que en la estación E-1 el principal producto de corrosión que se forma es la magnetita (Fe_3O_4), además de β -FeOOH y α -FeOOH desde el primer año de exposición. Se observan productos de corrosión de gran tamaño por MEB y se denota en los resultados de la microsonda la presencia de contaminación por azufre y cloro.

En E-2, el principal producto de corrosión que se forma una vez transcurridos los tres años de exposición a la atmósfera es la fase α -FeOOH (goethita), a expensas de la γ -FeOOH. No se forma la fase β -FeOOH. Por MEB se observan las morfologías típicas de dichos productos de corrosión, así como la presencia de contaminación por: azufre, cloro, calcio y manganeso.

Con tales resultados se corrobora lo obtenido en el ensayo de agresividad corrosiva a la atmósfera para el acero que se investigó, donde se pone en evidencia la mayor agresividad corrosiva de la estación E-1 respecto a E-2, lo cual se encuentra en correspondencia con la naturaleza de los productos de corrosión formados en cada una de ellas.

Agradecimientos

Al Lic. Blas Alexander Delgado Guedez (PDVSA-INTEVEP), por sus valiosos conocimientos, disponibilidad y colaboración, al permitirnos utilizar sus instalaciones en la realización de este trabajo.

Literatura citada

- CARTOTECA JCPDF, 1988.
- CASTAÑEDA, E. 2009. Estudio sobre la influencia del cromo en la velocidad de corrosión de los aceros patinables. Tesis Maestría en Ciencias Técnicas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Colombia.
- CASTAÑO, J. G., Botero, C. A., Restrepo, A. H., Agudelo, E. A., Correa, E., Echeverría, F. 2010. Atmospheric corrosion of carbón steel in Colombia». *Corrosion Science*. (52): 216-223.
- CORVO, F., Pérez, T., Dzib L.R, Martín Y., Castañeda, A., *et al.* 2008. Outdoor – indoor corrosion of metals in tropical coastal atmospheres. *Corrosion Science*. (50): 220-230.
- DÍAZ, I. 2013. Corrosión atmosférica de aceros patinables de nueva generación. Tesis Doctoral en Ciencias Técnicas. Universidad Complutense de Madrid. España.
- FLORES, S. 1994. Contaminantes salinos solubles en los productos de corrosión atmosférica del acero al carbono y zinc. Tesis Doctoral en Ciencias Químicas. CENIM. Madrid. España.
- GÓMEZ, J. L. Estudio corrosivo sobre cuatro metales en estaciones cubanas del proyecto MICAT. Tesis Doctoral en Ciencias Químicas. 2000. CEINPET. La Habana, Cuba.
- HACES, C. Principales mecanismos de los productos de corrosión en el Clima Tropical de Cuba. 1985. Tesis Doctoral en Ciencias Químicas. CNIC. La Habana, Cuba.
- HERNÁNDEZ, C. 2007. Estudio comparativo de productos de corrosión atmosférica del acero al carbono, tratados con extractos acuosos de productos naturales. Tesis Maestría Ciencias Químicas. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Universidad de Panamá. República de Panamá.

- JAEN, J. A., Araque, L. 2006. Caracterización de los productos de corrosión de aceros al carbono en el clima tropical marino de Sherman. *Tecnociencia*. (8): 49-63.
- JAEN, J. J., Adames, O., Iglesias, J., Hernández, C. 2011. Caracterización de la pátina protectora del acero patinable ASTM A709 HPS 70W del puente Centenario». *Tecnociencias*. (13) : 81-98.
- LEIVA, P. 2003. Estudio de los productos de corrosión del acero expuesto en una atmósfera costero industrial de Cuba. Tesis Maestría en Ciencias Físicas. INSTEC. La Habana. Cuba.
- LI Q, X., Wang, Z. Y., Han, W., Han, E. H. 2008. Characterization of the rust formed on weathering steel exposed to Qinghai salt lake atmosphere. *Corrosion Science* (50): 365 -371.
- LIBRERÍA NICOLET FTIR.
- MERTEL, J. Peculiaridades de la corrosión atmosférica del acero de bajo contenido de carbono en Ciudad de la Habana y sus implicaciones técnico económicas. 1985. Tesis Doctoral en Ciencias Técnicas. La Habana, Cuba.
- MISAWA, T., Asami, K., Hashimoto, K., Shimodaira, S. 1974. The Mechanism of Atmospheric Rusting and the Protective Amorphous Rust on Low Alloy Steel. *Corrosion Science*. (24): 279-284.
- MORCILLO, M. 1999. Corrosión y Protección de metales en las atmósferas de IBEROAMERICA. (Parte I). Mapas de Corrosividad Atmosférica. Proyecto MICAT. Editorial Salué. España: p. 807.
- NGOC-LAN, T., Phuong-Thoa, N., Nishimura, R., Tsujino, Y. 2006. Atmospheric corrosion of carbon steel under field exposure in the southern part of Vietnam. *Corrosion Science* (48): 179 -192.
- NORMA CUBANA NC-12-01-08. 1988. Sistemas de normas para la protección contra la corrosión. Determinación del contenido de dióxido de azufre en la atmósfera. Método de análisis químico.
- NORMA CUBANA NC-12-01-09. 1988. Sistemas de normas para la protección contra la corrosión. Determinación del contenido de cloruros en la atmósfera. Método de análisis químico.
- NORMA ISO 9223.1992.
- NORMA ISO 9226.1992. 1992. Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Determination of corrosion rate of standard specimens for evaluation of corrosivity.
- NORMA ISO/DIS 8407.3 1986. Metals and alloys.- Procedures for removal of corrosion products from corrosion test specimens.
- NORMA ISO-8565. 1992. Metals and alloys-atmospheric corrosion testing. General requirements for field.
- PACHECO, A. M., Teixeira, M. G. 1990. Initial stages of chloride induced atmospheric corrosion of iron; an infrared spectroscopic study. *British Corrosion Journal*. (25): 57-59.
- RAMAN, A., Kuban, B., Razvan, A. 1991. The application of Infrared Spectroscopy to the study of Atmospheric Rust System. *Corrosion Science*. (32): 1295-1306.
- RIZO, I., Adames, Y., Rivera, Y. 2013. Estudio de la corrosión atmosférica del acero al carbono en zonas petrolíferas de la costa norte occidental de Cuba. *Revista CNIC* (44): 216-228.
- ROSALES, B. M. 1997. Mapa de Corrosividad Atmosférica de Argentina. Editorial CITEFA, Argentina. p 366 .
- SANTANA, J. J., González, J. E. 2002. Estudio de la corrosión atmosférica del acero al carbono y sus productos de corrosión mediante el empleo de técnicas electroquímicas, difracción de rayos X y microscopía electrónica. *Corrosion Science*. (44): 259-261.
- TOMASHOV, N. D. Theory of Corrosion and Protection of Metals. 1971. Ediciones Revolución. La Habana, Cuba p. 367-389.
- WANG, Z., Liu, J., Han, R. 2013. Study of the corrosion behavior of weathering steel in atmospheric environments. *Corrosion Science* (67): 1 -10.
- YUANTAI, M., Ying, L., Wang, F. 2009. Corrosion of low carbon steel in atmospheric environments of different chloride content. *Corrosion Science* (51): 997 – 1006. 

Este artículo es citado así:

Gómez-Pascual, J. L., I. Rizo-Alvarez. 2015. Caracterización de productos de corrosión del acero al bajo carbono en atmósferas contaminadas por compuestos de azufre. *TECNOCENCIA Chihuahua* 9(3): 160-170.

Resumen curricular del autor y coautores

JORGE LORENZO GÓMEZ PASCUAL. Terminó su licenciatura en 1976, año en que le fue otorgado el título de Licenciado en Química por la facultad de Química de la Universidad de la Habana. Doctor en Ciencias Químicas y categoría científica de Investigador Titular desde el año 2000 y 2002 respectivamente. Se ha destacado en la esfera de las investigaciones químicas en: Corrosión Atmosférica y Química Analítica. Ha obtenido más de 50 resultados científicos, entre los que se encuentran: Mapa Iberoamericano de Corrosividad Atmosférica (Proyecto MICAT), Contribución al estudio de la contaminación por metales en sedimentos costeros, Establecimiento de metodologías para la cuantificación de As y Hg en muestras ambientales entre otras. Ha publicado más de 50 artículos científicos en revistas y eventos internacionales como: Revista Cubana de Química, Memorias III Congreso Iberoamericano de Corrosión y Protección Brasil 1989, Revista tecnológica Cubana, Revista Hyperfine Interaction, Revista CNIC, Pinturas y Acabados Industriales, Revista científica virtual de materiales, Memorias V Congreso Colombiano de Corrosión, Memorias 7 th Congreso Iberoamericano de corrosión, Revista Corrosion Science, Memorias XXVII Congreso Latinoamericano de Química, Revista Internacional de Contaminación Ambiental, Revista Environment Monitor Assesment. Ha participado en más de 200 eventos científicos, de ellos más de 100 internacionales. Resultado de Mayor Relevancia Científica Mapa Iberoamericano de Corrosión Atmosférica Reconocimiento por la labor desplegada al frente del Tribunal de la Categoría de Investigador Titular y Auxiliar del Ministerio de Comercio Interior. Presidente del Tribunal para la categorización de Investigadores Auxiliares del CEINPET, miembro del Consejo Científico del CEINPET y secretario de la Comisión de Trabajo Ramal Química del mismo, miembro del Consejo Científico de la Facultad de Química del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (ISPJAE), presidente de la Filial CEINPET de la Sociedad Cubana de Química, tutoría de Tesis de maestría en Química Orgánica, tutoría de Tesis de maestría en Corrosión, tutoría de Tesis de Doctorado por modalidad libre, Oponencia de 4 Tesis de maestría en Química Ambiental y dos tesis de Doctorado en Corrosión, participación en tribunales para la defensa de doctorados y maestrías.

ILEANA RIZO ALVAREZ. Terminó su ingeniería en 1993, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero químico en la Facultad de Ingeniería Química del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (ISPJAE). Realizó estudios de postgrado en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el área de Corrosión en 2005. Desde 1993 labora en el Centro de Investigación del Petróleo y posee la categoría de Investigador Auxiliar. Es miembro del comité de Expertos de Corrosión de la unión CUPET. Su área de especialización es la corrosión atmosférica y la protección catódica. Ha dirigido 2 tesis de maestría. Es autora de 28 artículos científicos y ha presentado más de 50 ponencias en eventos científicos, incluidos congresos. Ha impartido 3 cursos de postgrado. Ha dirigido 2 proyectos de investigación y ha sido responsable de diferentes etapas en proyectos afín con la actividad que realiza.

Estudio comparativo de la influencia de las zonas arboladas urbanas en la calidad del aire de Ciudad Juárez, Chihuahua, México

A comparative study of the influence of wooded urban zones in the air quality of Ciudad Juarez, Chihuahua, México

CLAUDIA ELIZABETH BACA-SANTINI¹, FELIPE ADRIÁN VÁZQUEZ-GÁLVEZ^{1,2}

Recibido: Octubre 13, 2015

Aceptado: Diciembre 8, 2015

Resumen

Desde 1997, en Ciudad Juárez, Chihuahua, se han incrementado los esfuerzos por reducir los niveles de contaminantes presentes en el aire y que están relacionados con procesos inflamatorios en el sistema respiratorio y cardiovascular. La presencia de árboles en zonas urbanas ha demostrado ser una herramienta para la remoción de contaminantes, como material particulado (PM), de la atmósfera local. En este estudio, se realizó una medición simultánea de cinco fracciones correspondientes a los diámetros aerodinámicos de 1.0 μm , 2.5 μm , 4 μm , 10 μm y totales (PM1, PM2.5, PM4, PM10 y PMTot) en dos sitios (uno arbolado y otro no) durante el mes de noviembre de 2014 para estudiar el efecto de la vegetación en la disminución de concentraciones de las diferentes fracciones de PM. Los sitios de estudio se ubicaron aproximadamente en la misma zona de la ciudad, por lo que los efectos de la dispersión por orografía o estructuras urbanas se minimizan. Los valores más altos de concentración de partículas en todas las fracciones se observaron en el punto menos arbolado. Sin embargo, se observó una diferencia significativa en la reducción de las fracciones más grandes ($>10 \mu\text{m}$). El estudio muestra la importancia de la infraestructura verde en las zonas urbanas de climas semiáridos para mitigar la exposición a $\text{PM}>10 \mu\text{m}$ y justifica el financiamiento de incorporar vegetación para reducir la concentración de partículas finas.

Palabras clave: calidad de aire, material particulado, salud pública, zonas arboladas.

Abstract

Since 1997, Ciudad Juarez, Chihuahua, has increased its efforts to reduce levels of air pollutants associated with respiratory and cardiovascular inflammatory processes. The presence of trees in urban areas has proven to be a tool for the removal of contaminants, such as particulate matter (PM), from the local atmosphere. A study was conducted during November 2014 to measure simultaneously five aerodynamic diameters corresponding to 1.0 μm , 2.5 μm , 4 μm , 10 μm and total (PM1, PM2.5, PM4, PM10 and PMTot) at two different sites (one wooded and other not), in order to study the effect vegetation has on the concentrations of the different fractions of particulate matter. The study sites were located approximately in the same area of the city in order to minimize the effects of dispersion by terrain or urban structures. Higher values of particle concentration in all fractions were observed in the least wooded place; however, a significant difference in the removal of the largest fractions ($>10 \mu\text{m}$) was observed. The study shows the importance of green infrastructure into the urban areas of semiarid climates to mitigate exposure to $\text{PM}>10 \mu\text{m}$ and justifies financing the incorporation of vegetation into urban areas to reduce the concentration of fine particles.

Keywords: air quality, particulate matter, public health, wooded zones.

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Instituto de Ingeniería y Tecnología. Av. del Charro núm. 450 Nte., Ciudad Juárez, Chih., México, 32310. Tel. (656) 688-4847.

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

Introducción

Recientemente se ha reconocido la importancia de la vegetación urbana como un elemento esencial de la calidad de vida por los efectos estéticos y ambientales. Varios estudios muestran evidencia de que la vegetación urbana influye directa e indirectamente en la calidad del aire por el proceso de fotosíntesis que consume bióxido de carbono, emitiendo oxígeno y produciendo agua (Nowak *et al.*, 1998., Nowak *et al.*, 2006).

Adicionalmente, la vegetación arbórea puede remover cantidades significativas de contaminantes antropogénicos, mejorando la calidad del medio ambiente y la de la salud humana. Los árboles disminuyen la temperatura del aire por medio de la transpiración de agua a través de sus hojas, bloquean la radiación solar (sombra), reducen la absorción y el almacenamiento de calor en las estructuras urbanas como calles y edificios, y alteran las características del viento, factor primordial que influye en la dispersión de los contaminantes (Nokaw *et al.*, 1998; Nowak *et al.*, 2006) y en los procesos de «isla de calor urbana» (Crutzen 2004; Garcia-Cueto *et al.*, 2007; Steward y Oke, 2010). Se estima que una hectárea de árboles atrapa más de 500 kg de contaminantes, incluyendo más de 100 kg de ozono (O₃) y partículas (Mexal *et al.*, 2013).

La remoción de contaminantes en el aire se lleva a cabo principalmente por tres mecanismos: por deposición húmeda donde la intervención de la lluvia ayuda a precipitar o lavar los contaminantes; a través de reacciones químicas en fase gaseosa y, finalmente, por deposición seca al ser retenidos en diferentes superficies, incluyendo los árboles. En esta última, los contaminantes pueden ser retenidos en la vegetación por sedimentación por efecto de la gravedad y colisiones con ayuda de corrientes de aire (Nowak *et al.*, 1994).

A nivel mundial, la Organización Mundial de la Salud ha estimado que más de un millón de muertes prematuras al año son atribuibles a la contaminación atmosférica (Yang *et al.*, 2008; Amorim *et al.*, 2013). Algunos estudios estiman que los efectos de la contaminación urbana del

aire en la salud continuarán empeorando, y la contaminación atmosférica podría convertirse en el año 2050 en la principal causa ambiental de mortalidad prematura. El número de muertes prematuras relacionadas con la exposición a partículas PM₁₀ y PM_{2.5} aumentará de poco más de un millón en el mundo en el año 2000 a cerca de 3.5 millones en 2050 (OCDE, 2015).

Estudios epidemiológicos han demostrado que la contaminación atmosférica se relaciona con diversos problemas de salud, y que la exposición está asociada a malestares en la salud humana que van desde irritaciones oculares menores hasta síntomas respiratorios de mayor consideración a corto plazo, y trastornos respiratorios crónicos como asma, padecimientos cardiovasculares y cáncer de pulmón a largo plazo. Los niños y los ancianos son particularmente vulnerables (Hernández *et al.*, 2000; Rosales *et al.*, 2001; Cortez *et al.*, 2004; Haar *et al.*, 2006; Lanki 2006; Pope y Dokery, 2006).

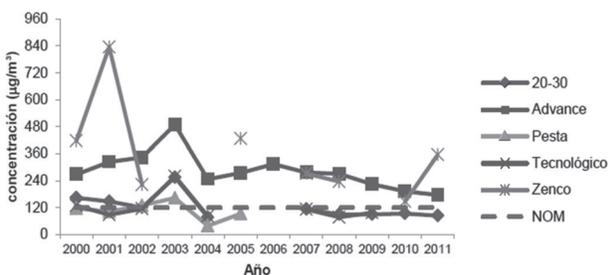
Datos estadísticos indican que durante el año de 1997 en Ciudad Juárez, se emitieron a la atmósfera 662 mil toneladas de contaminantes, de los cuales, el 72% correspondía a monóxido de carbono (CO), 10% a hidrocarburos (HC) y el 9.6% a partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) (Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, 2012).

Ciudad Juárez se localiza en el norte del estado de Chihuahua, a los 31° 44' de latitud norte, y 106° 26' de longitud oeste. La ciudad cuenta con una extensión territorial de 3,561 km² y una población estimada de 1,351,302

habitantes (Plan Estratégico de Juárez, A.C., 2015). Sus principales actividades económicas radican en la manufactura (principalmente maquiladora), el comercio y servicios (Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, 2012).

El programa PROAIRE desarrolló un conjunto de estrategias y acciones para mitigar el efecto de los contaminantes atmosféricos en el medio ambiente y en la salud de la población. Entre las principales medidas que se han plasmado destacan la mejora de la calidad de los combustibles, el fortalecimiento de los programas de verificación vehicular, el control de emisiones de la industria ladrillera y la formación de un comité de reforestación, entre otras. Aun así, de acuerdo con los reportes de resultados del mismo PROAIRE, los niveles de varios contaminantes, entre ellos PM_{10} , siguen mostrando una tendencia sin cambio significativo y arriba del valor de referencia de la NOM-025-SSA1-1993 para la mayoría de las estaciones con series de tiempo de reporte de más de cinco años (Figura 1).

Figura 1. Comparativo anual del percentil 98 de PM_{10} por estación de medición. (Ciudad Juárez, Chih., 2000-2011).



Fuente: tomado del Informe de Evaluación del Programa de Gestión de la Calidad del Aire de Ciudad Juárez 2006-2012.

Un aspecto relevante en la descripción de la contaminación atmosférica es la distribución del tamaño de las partículas en los ambientes urbanos. Esta distribución está inducida por las fuentes y la composición química de las mismas (Xue *et al.*, 2014). Las fracciones más

pequeñas con diámetro aerodinámico menor a $2.5 \mu m$ (fracción fina) se asocian, en general, a fuentes móviles y quema de biomasa. La composición química de las partículas finas en las zonas desérticas con poca aportación de aire marítimo, está dominada por diferentes tipos de hidrocarburos poliaromáticos, olefinas y carbón negro (Kelly *et al.*, 2006). Las partículas con diámetro aerodinámico mayor a $10 \mu m$ (fracción gruesa), normalmente se asocian a polvos ligeros cuya presencia se agudiza con el tráfico vehicular en zonas sin pavimento. Por tal motivo, la mayoría de las zonas urbanas en el norte de México exhiben una curva bi-modal en cuanto a la distribución del tamaño de partícula y una primera caracterización del origen y la posible composición de las partículas, se puede deducir por la abundancia relativa de partículas en función de la distribución de tamaños.

Las medidas establecidas en el programa PROAIRE, si bien están enfocadas a reducir la emisión de contaminantes en los puntos de generación, no parecen haber tenido los efectos esperados en la calidad del aire en cuanto a partículas de la fracción gruesa en general (Figura 1). Adicionalmente, diferentes instancias de gobierno han lanzado programas tendientes a reducir la obesidad sobre todo en niños y jóvenes. Como consecuencia, se han generado campañas para motivar a la realización de actividad física sin considerar la calidad del aire en las áreas donde se practica deporte o se realizan actividades de recreación familiar. Una de las áreas tradicionales para la realización de actividad física en Ciudad Juárez es el parque El Chamizal, que consiste en un área arbolada de aproximadamente 124 ha, que es frecuentada sobre todo los fines de semana para la realización de actividades físicas y días de campo familiares. Es el área arbolada más importante en Ciudad Juárez, por la edad de los árboles y su extensión (una discusión completa sobre el impacto de las áreas verdes en la zona metropolitana de Ciudad Juárez se puede consultar en Romo-Aguilar, 2008).

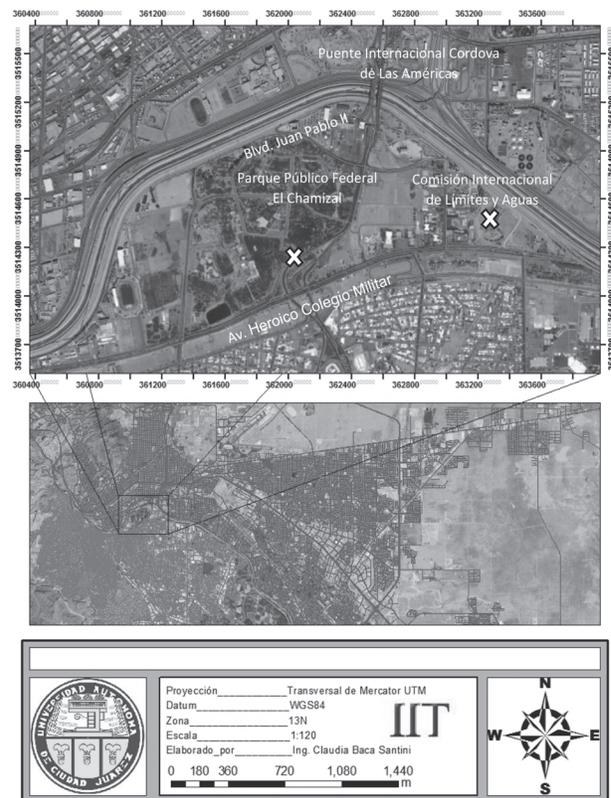
El presente estudio evalúa las concentraciones de diferentes fracciones de material particulado en áreas arboladas del parque El Chamizal en comparación con áreas contiguas sin la misma densidad de árboles y aproximadamente la misma influencia de tráfico vehicular de vehículos comerciales entre las áreas industriales del oriente de la ciudad con el cruce internacional el puente de Córdova. En otras palabras, ¿podría la vegetación representar una disminución en la exposición a partículas suspendidas de las personas que trabajan o se ejercitan en la zona? Por lo tanto, el objetivo es determinar las diferencias en concentraciones para las fracciones de partículas suspendidas medidas asociadas al efecto de la vegetación.

Materiales y métodos

Se monitorearon las concentraciones de partículas suspendidas correspondientes a cinco fracciones: PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_4 , PM_{10} y PM_{Tot} durante la época de otoño durante el mes de noviembre de 2014 en dos sitios de la zona norte de Ciudad Juárez, Chihuahua (Figura 2). Se analizaron condiciones climáticas del mes de noviembre a partir de las estadísticas de cinco años de los valores de concentración por mes del año de material particulado PM_{10} (Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, 2013) para Ciudad Juárez, Chihuahua y El Paso Texas (Texas Commission of Environmental Quality, 2013). Se analizaron los datos de altura de capas de mezclado para la cuenca Paso del Norte (que comprende el municipio de Ciudad Juárez y los condados de El Paso, Texas, y Doña Ana, Nuevo México) y los valores de estabilidad atmosférica por mes. Como resultado, noviembre mostró ser el mejor mes para realizar la evaluación por la menor probabilidad de tener el efecto de deposición húmeda (por lluvias y neblinas principalmente) de las partículas, así como el acarreo de polvos de las dunas que rodean la ciudad y de dispersión de los contaminantes. El área identificada como «sitio de interés» se ubicó hacia el norte de la ciudad, en colindancia con la línea fronteriza internacional a la altura de la ciudad de El Paso, Texas. Esta zona está rodeada por dos principales vías de tráfico

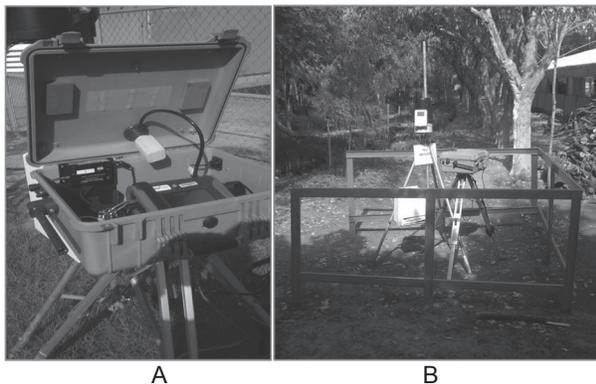
vehicular: el Boulevard Juan Pablo II («Cuatro Siglos») y la Ave. Heroico Colegio Militar. Estas avenidas, adicional a la carga de tráfico urbano, son puntos de acceso al cruce internacional «Américas», donde las emisiones de vehículos en espera han sido identificadas como importantes contribuyentes de partículas finas (Mukerjee *et al.*, 2004; Sarnat *et al.*, 2012; Olvera *et al.*, 2013). Adicionalmente, la Autopista Interestatal 10, principal vía de transporte comercial en la región, se encuentra a una distancia mínima de 1,300 m al norte, paralela a la línea fronteriza (lado americano de la frontera). Dentro de esta zona, se eligieron dos sitios para el monitoreo de PM; el que corresponde a la zona arbolada se ubicó dentro de las 124 hectáreas que ocupa la zona núcleo del parque público «El Chamizal». El otro sitio se ubicó a 2 km al oeste, en los patios de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) y que no presenta una densidad considerable de árboles en comparación con el primer sitio (Figura 2).

Figura 2. Ubicación geográfica de sitios de medición.



Para el monitoreo de material particulado, se instalaron dos equipos DustTrak DRX Aerosol Monitor 8533 (Figura 3). Los instrumentos miden a través de fotómetros láser simultáneamente la concentración de cinco fracciones de masa segregadas por tamaño PM_{1} , $PM_{2.5}$, PM_{4} , PM_{10} y PM_{Tot} , durante 24 horas, con una resolución de 12 minutos. Su rango de operación es de 0.001 a $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Los equipos funcionan a partir de detectores de dispersión y conteo que elimina la necesidad de obtener muestras en filtros y obtener valores de concentración por gravimetría. Una ventaja sobre los métodos inerciales y filtros es que, para concentraciones bajas, se puede reducir de manera significativa la incertidumbre por la pérdida de masa y manipulación de filtros (Mathai, 1990; Chow *et al.*, 2006; Campos-Trujillo *et al.*, 2015). Los monitoreos se realizaron del día 13 al 30 de noviembre del 2014. Las condiciones meteorológicas se obtuvieron del portal electrónico del Servicio Meteorológico Nacional de la Estación Sinóptica Meteorológica Automática de Ciudad Juárez, localizada dentro de las inmediaciones del CILA. Los datos obtenidos se procesaron estadísticamente mediante el programa Minitab 16. Se realizó una prueba de normalidad y se obtuvo la estadística descriptiva de cada conjunto de datos. Con base en los datos obtenidos se realizó una prueba de hipótesis por medio del método *t* de *student* pareada.

Figura 3. Equipo de monitoreo DustTrak DRX Aerosol Monitor 8533 instalados en sitios de monitoreos: (A) Comisión Internacional de Límites y Aguas, B) Parque El Chamizal.

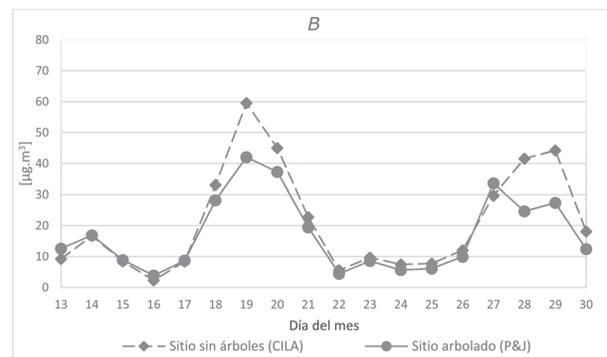
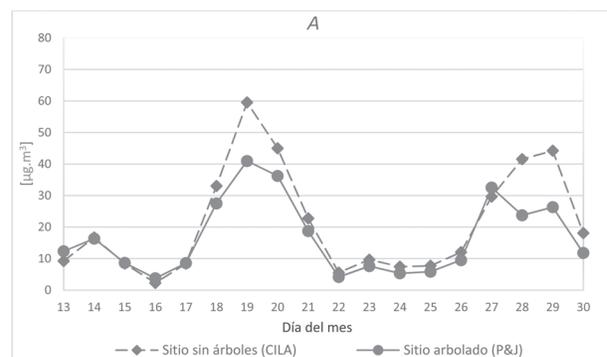


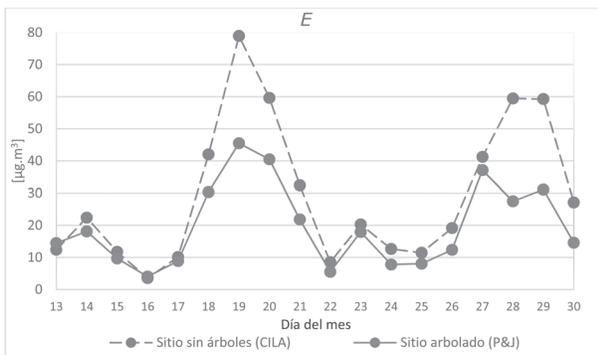
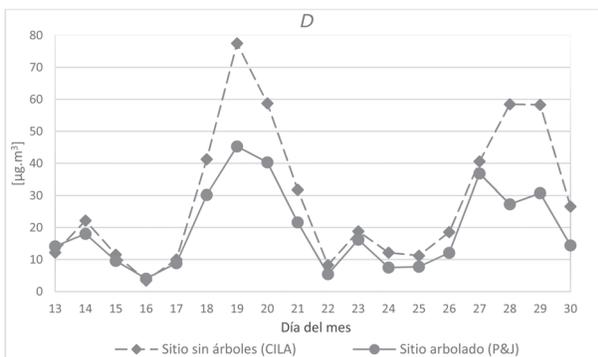
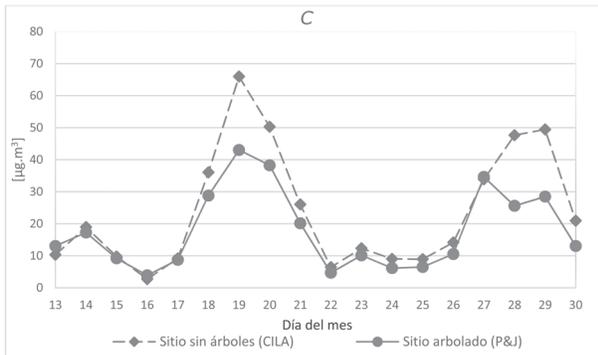
Resultados y discusión

De acuerdo con la prueba de hipótesis, se observó diferencia significativa ($P < 0.05$) para todos los conjuntos de concentraciones para el periodo de tiempo analizado. El sitio que mostró valores más bajos de concentraciones de material particulado fue el arbolado.

Durante el periodo de estudio, con excepción de los días 19 y 20 de noviembre, las concentraciones no sobrepasaron el límite máximo permisible de $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para $PM_{2.5}$ y de $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para PM_{10} (NOM-025-SSA1-2014). En la Figura 4 se observa, para las cinco fracciones de partículas, que a partir de una concentración de $20.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ el comportamiento del sitio sin árboles comienza a diferir del sitio arbolado, incrementando los valores de concentración.

Figura 4. Comparativo de concentraciones promedio de 24 horas durante 18 días de noviembre 2014 para PM_{1} (A), $PM_{2.5}$ (B), PM_{4} (C), PM_{10} (D) y PM_{Tot} (E).

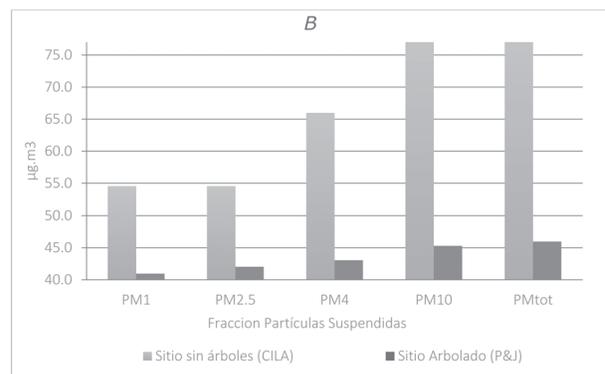
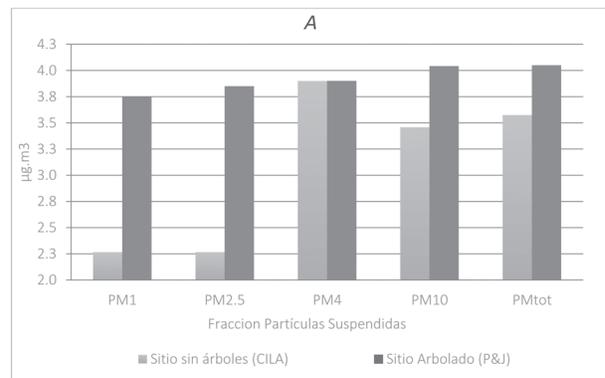




Con objeto de valorar la distribución bimodal de las partículas finas y gruesas, se analizaron los días 16 y 19 de noviembre, por ser los días en el periodo de pruebas con las condiciones de menor y mayor concentración de material particulado, respectivamente, así como una mayor estabilidad atmosférica. El día 16 en el sitio sin árboles, la fracción gruesa es claramente dominante asociada a una mayor presencia de partículas aglutinadas y de suelo en suspensión y en el sitio arbolado se observan altas concentraciones tanto de la fracción fina

como la gruesa. De acuerdo con la Figura 5, el 19 de noviembre se observa una presencia bimodal con predominancia de partículas gruesas, en donde los árboles permiten una mayor suspensión de partículas y en la zona sin árboles las condiciones de viento tienden a esparcir y diluir la presencia de contaminantes de ambas fracciones. Es decir, que realizar alguna actividad al aire libre es mejor cuando sopla viento que cuando está en calma en las zonas sin árboles, mientras que el viento tiene un efecto menor en la dilución de las partículas en las zonas arboladas.

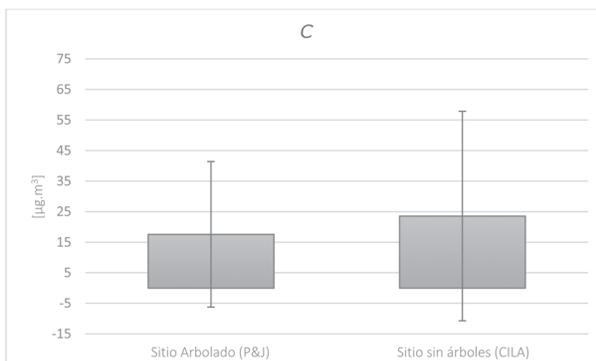
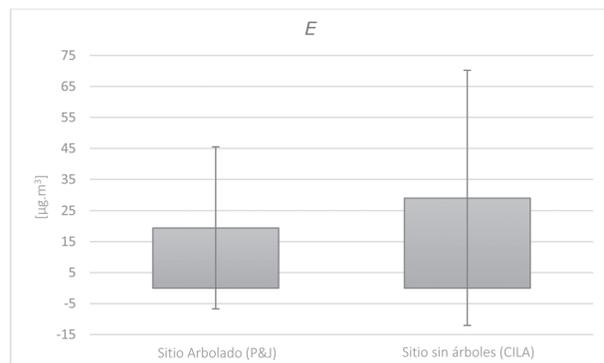
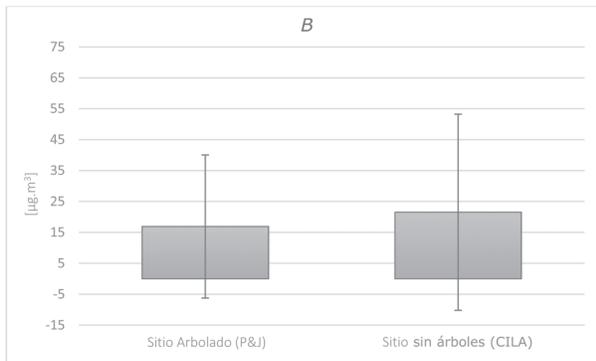
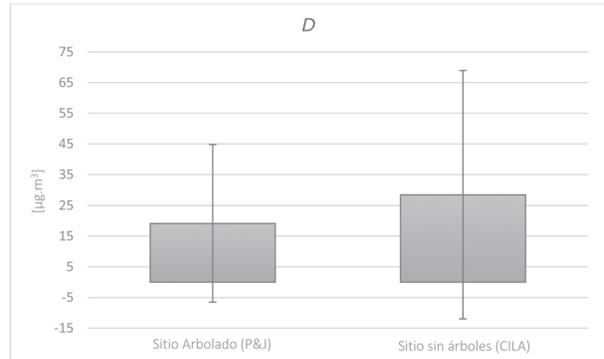
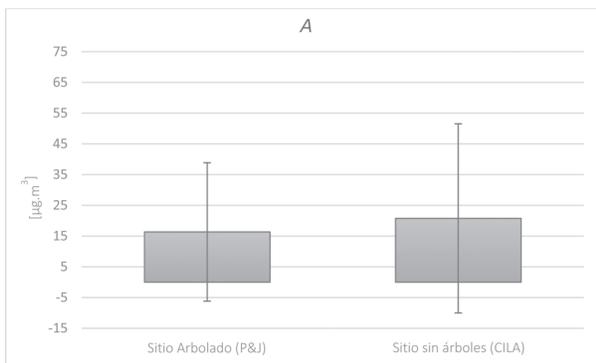
Figura 5. Comportamiento de días de mayor y menor concentración bajo condiciones de estabilidad atmosférica: A. Día menor concentración (16 de noviembre), B. Día mayor concentración (19 de noviembre).



La retención de partículas está influenciada por varios factores. Uno de ellos, es que las plantas con hojas pequeñas o con hojas con una superficie áspera son más eficientes reteniendo partículas, de igual forma, partículas

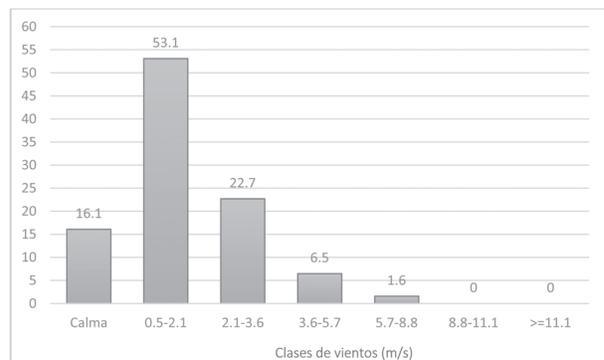
más grandes son depositadas en las hojas más rápido que las partículas pequeñas (Nowak, 1994). Este mecanismo se observa en la Figura 6, donde la diferencia entre ambos valores de concentración es más grande conforme se incrementa la fracción de las partículas (Figura 6D y 6E para PM_{10} y PM_{Tot} , respectivamente).

Figura 6. Comparativo de media y desviación estándar para valores diarios de concentraciones para PM_1 (A), $PM_{2.5}$ (B), PM_4 (C), PM_{10} (D) y PM_{Tot} (E).



Otro factor que afecta la retención de partículas es la estabilidad atmosférica y la velocidad del viento. En la Figura 7 se muestra que durante el periodo de estudio se mantuvo una amplia estabilidad atmosférica (vientos bajos y en calma).

Figura 7. Distribución de frecuencias tipos de vientos.



Conclusiones

De acuerdo con los resultados del estudio realizado se puede afirmar que la presencia de vegetación disminuye la concentración de material particulado en las zonas urbanas. Las concentraciones medidas de cinco fracciones de partículas suspendidas: PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_{4} , PM_{10} y PM_{Tot} mostraron una diferencia favorable medible entre la zona arbolada y la zona no arbolada, lo cual es posible atribuirse a la vegetación presente en el sitio arbolado. La información obtenida en este estudio puede ser un respaldo para justificar el financiamiento para incorporar, dentro de las medidas para mejorar la calidad del aire, la implementación de infraestructura verde en zonas urbanas y contribuir a mejorar la salud de los habitantes.

Agradecimientos.

Al comisionado Roberto Salmón Castelo de la Comisión Internacional de Límites y Aguas, al Lic. Jesús Molinar del Invernadero del Parque El Chamizal del Gobierno Municipal de Ciudad Juárez por las facilidades brindadas para la realización del presente estudio. Al Dr. Héctor Olvera de la Universidad de Texas en El Paso, Adrián Vicente Peña López de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, al Biol. Gerardo Tarín de la delegación de SEMARNAT en Chihuahua y al Dr. Alfredo Granados Olivas por sus valiosos comentarios.

Literatura citada

CÁMARA DE DIPUTADOS, M. D. 2014. El Chamizal: a 50 años de su devolución. México DF.

CAMPOS-TRUJILLO, A., Acosta-Carrasco, H. I., Gómez-Vargas, R., Carrillo-Flores, J. I., & Espinoza-Ramírez, E. 2015. Evaluación del desempeño del método de alto volumen para la determinación de partículas menores a 10 micras. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(1), 79–88.

CHOW, J. C., Watson, J. G., Lowenthal, D. H., Antony Chen, L.-W., Tropp, R. J., Park, K., & Magliano, K. A. 2006. $PM_{2.5}$ and PM_{10} Mass Measurements in California's San Joaquin Valley. *Aerosol Science and Technology*, 40(10), 796–810. doi:10.1080/02786820600623711.

CRUTZEN, P. J. 2004. New Directions: The growing urban heat and pollution «island» effect — impact on chemistry and climate. *Atmospheric Environment*, 38, 3539–3540. doi:10.1029/2001.

DIRECCIÓN GENERAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE Y REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES. Programa de Gestión de la Calidad del Aire de Ciudad Juárez 2006-2012. Informe de evaluación (Diciembre 2012).

GARCÍA-CUETO, O.R., M., Jáuregui, E., Toudert, D. y Tejeda-Martínez, A. 2007. Detection of the urban heat island in Mexicali, B. C., México and its relationship with land use. *Atmósfera*, 20(2), 111–131.

HERNÁNDEZ-CADENA, L., Barraza-Villarreal, A., Ramírez-Aguilar, M., Moreno-Macías, H., Miller, P., Carbajal-Arroyo, L. A., y Romieu, I. 2007. Morbilidad infantil por causas respiratorias y su relación con la contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Salud pública de México*, 49(1), 27-36.

HOLGUIN, F., Flores, S., Ross, Z., Cortez, M., Molina, M., Molina, L. y Romieu, I. 2007. Traffic-related exposures, airway function, inflammation, and respiratory symptoms in children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 176(12), 1236-1242.

KELLY, K., Wagner, D., Lighty, J., Quintero Núñez, M., Vazquez, F. A., Collins, K., & Barud-Zubillaga, A. 2006. Black carbon and polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from vehicles in the United States-Mexico border region: pilot study. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(3), 285–93. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16573191>

LANKI, T., de Hartog, J. J., Heinrich, J., Hoek, G., Janssen, N. A., Peters, A.,... & Pekkanen, J. 2006. Can we identify sources of fine particles responsible for exercise-induced ischemia on days with elevated air pollution? The ULTRA study. *Environmental Health Perspectives*, 114(5), 655.

MATHAI, C. V. 1990. Visibility and fine particles: A Summary of the A & WMA / EPA International Specialty Conference. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 40(11), 1486–1494.

MCPHERSON, E. G., Nowak, D. J., & Rowntree, R. a. 1994. Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. *Urban Ecosystems*, 201.

MEXAL, J.G. y E. Herrera. 2014. Servicios ambientales de árboles: énfasis en la industria del nogal pacanero. *TECNOCENCIA Chihuahua* 8(1): 39-45.

MUKERJEE, S., Norris, G. a., Smith, L. a., Noble, C. a., Neas, L. M., Özkaynak, a. H., y Gonzales, M. 2004. Receptor Model Comparisons and Wind Direction Analyses of Volatile Organic Compounds and Submicrometer Particles in an Arid, Binational, Urban Air Shed. *Environmental Science and Technology*, 38(8), 2317–2327. doi:10.1021/es0304547

NOWAK, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Hoehn, R. 2013. Modeled $PM_{2.5}$ removal by trees in ten US cities and associated health effects. *Environmental Pollution*, 178, 395-402.

NOWAK, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, 4(3), 115-123.

NOWAK, D. J., McHale, P. J., Ibarra, M., Crane, D., Stevens, J. C., & Luley, C. J. 1998. Modeling the effects of urban vegetation on air pollution. In *Air pollution modeling and its application XII* (pp. 399-407). Springer US.

OCDE 2015: Better Life Index, consultado en <http://www.oecdbetterlifeindex.org/es/topics/environment-es/> el 11 de septiembre de 2015.

OLVERA, H. A., Lopez, M., Guerrero, V., Garcia, H., & Li, W. W. 2013. Ultrafine particle levels at an international port of entry between the US and Mexico: Exposure implications for users, workers, and neighbors. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 23(3), 289-298.

PLAN ESTRATÉGICO DE JUÁREZ, A.C. 2015. Informe Así estamos Juárez 2015. Ciudad Juárez, México: Plan Estratégico de Juárez.

- POPE III, C. A., & Dockery, D. W. 2006. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709-742.
- ROMO-AGUILAR, M. de L. 2008. Áreas verdes y justicia social en Ciudad Juárez. *CRISOL: Fusión de Ideas*, 9-24. Recuperado en http://www.uacj.mx/IADA/Documents/REVISTAS/CRISOL/revistas/Crisol_5.pdf el 27/Sep/2015.
- ROSALES-CASTILLO, J. A., Torres-Meza, V. M., Olaiz-Fernández, G., & Borja-Aburto, V. H. 2001. Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos. *Salud Pública de México*, 43(6), 544-555.
- SARNAT, S. E., Raysoni, A. U., Li, W.-W., Holguin, F., Johnson, B. A., Flores-Luevano, S.,... Sarnat, J. A. 2012. Air Pollution and Acute Respiratory Response in a Panel of Asthmatic Children along the US-Mexico Border. *Environmental Health Perspectives*, 120(3), 437-444.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE. 2013. Sistema de medición de la Calidad del Aire de Ciudad Juárez, Chih. Recuperado de http://sinaica.ine.gob.mx/rama_cj.html.
- STEWART, I., & Oke, T. 2010. Newly developed «thermal climate zones» for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer. In Ninth Symposium on the Urban Environment.
- TEXAS COMMISSION OF ENVIRONMENTAL QUALITY. 2013. Calidad del Aire. Recuperado de http://www.tceq.texas.gov/cgi-bin/compliance/monops/monthly_summary.pl
- USEPA, & SEMARNAT. 2011. Border 2012: U.S. - Mexico Environmental Program, State of the Border Region Indicators Report 2010.
- YANG, J., Yu, Q., & Gong, P. 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric environment*, 42(31), 7266-7273.
- XUE, J., Z. Yuan, A. K. H. Lau, and J. Z. Yu. 2014. Insights into factors affecting nitrate in PM_{2.5} in a polluted high NO_x environment through hourly observations and size distribution measurements. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 4888-4902, doi:10.1002/2013JD021108. 

Este artículo es citado así:

Baca-Santini, C. E., F. A. Vázquez-Gálvez. 2015. Estudio comparativo de la influencia de las zonas arboladas urbanas en la calidad del aire de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *TECNOCENCIA Chihuahua* 9(3): 171-179.

Resumen curricular del autor y coautores

CLAUDIA ELIZABETH BACA SANTINI. Concluyó sus estudios nivel licenciatura en el año 2005, obteniendo así el título de Licenciatura en Ingeniería Química por el Instituto Tecnológico de Parral (ITP). Realizó su posgrado en Ingeniería Ambiental, obteniendo el grado de Maestría en el 2015 por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Actualmente se desempeña como Ingeniero Ambiental y de Seguridad dentro de una empresa de clase mundial en el ramo automotriz; así como cuenta con la certificación pertinente como auditora líder de sistemas de administración ISO14001:2004 y OHSAS 18001:2007.

FELIPE ADRIÁN VÁZQUEZ GÁLVEZ. Terminó su licenciatura en 1982, año en que le fue otorgado el título de Químico por el Departamento de Química de la Universidad De Texas en El Paso (UTEP). Realizó su posgrado en la misma universidad, donde obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Química en 1985 y el grado de Doctor en Filosofía también en el área de aerosoles atmosféricos por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Desde 2014 labora en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y posee la categoría de Académico titular C. Su área de especialización es la química atmosférica y la calidad del aire urbano. Se ha desempeñado como Subprocurador Federal del Ambiente, Subsecretario de Gestión en la SEMARNAT, Director Ejecutivo de la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte y Coordinador General del Servicio Meteorológico Nacional de México.

Análisis de propuestas metodológicas sobre vulnerabilidad contenidas en los Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía de México

Analysis of methodological proposals on vulnerability contained in the Drought Prevention and Mitigation Programs in Mexico

RAÚL ALFREDO MEZA-GONZÁLEZ^{1,3}, OSCAR FIDENCIO IBÁÑEZ-HERNÁNDEZ²

Recibido: Noviembre 12, 2015

Aceptado: Febrero 10, 2016

Resumen

Las sequías y la vulnerabilidad en México generan impactos negativos severos en la economía, la sociedad y los ecosistemas. Tradicionalmente, esta situación se ha atendido desde un enfoque reactivo según el cual se actúa después de que ha ocurrido el desastre, sin embargo, desde la creación del Programa Nacional contra la Sequía (PRONACOSE) se empezó a trabajar en un nuevo enfoque preventivo: se crearon los Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS) que evaluaron la vulnerabilidad. En este artículo se analiza el capítulo de vulnerabilidad de dichos programas para comparar propuestas metodológicas y sus implicaciones en la definición de medidas de prevención, así como identificar oportunidades de actualización en este tema.

Palabras clave: PRONACOSE, Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía, vulnerabilidad, sequía.

Abstract

Droughts and drought vulnerability in Mexico generate severe negative impacts on the economy, society and ecosystems. Traditionally, this situation has been approached from a reactive perspective characterized by acting until the disaster has occurred, but since the creation of the National Program against Drought (PRONACOSE, for its acronym in Spanish) a new preventive approach began: Programs of Preventive Measures and Drought Mitigation (PMPMS, for its acronym in Spanish) to assessing vulnerability were created. This article analyzes the vulnerability chapter of such programs to compare methodological proposals and their implications in defining preventive measures and identifying opportunities update for improvement.

Keywords: PRONACOSE, Programs of Preventive Measures and Drought Mitigation, vulnerability, drought.

Introducción

En México hay regiones de muy alta vulnerabilidad a las sequías, como la zona metropolitana de la ciudad de México, el norte de Sinaloa, la cuenca del río Conchos y la región del Bajío, que son consideradas las zonas más críticas, y otras no menos importantes son la zona metropolitana de Monterrey, el estado de Nuevo León y el centro de Sinaloa (Ortega-Gaucin y Velasco, 2013).

¹ El Colegio de Chihuahua. Calle Partido Díaz núm. 4723, y Anillo Envolvente del Pronaf, Col. Progresista, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C. P. 32310. Tel. (656) 639-0397, (656) 639-0398, (656) 251-0175.

² Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Instituto de Ingeniería y Tecnología. Av. del Charro núm. 450 norte, Col. Partido Romero, C.P. 32310, tel. (656) 688-4846.

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: rmezago@gmail.com.

El término vulnerabilidad tiene varias definiciones, sin embargo, muchas de ellas se refieren al grado en que la sociedad es susceptible a un fenómeno como la sequía, ya sea por la magnitud de la exposición a este, a la capacidad para enfrentarlo o ambos factores (Wilhelmi *et al.*, 2002: 1400).

Cuando ocurren las sequías en zonas altamente vulnerables, la red compleja de impactos afecta a la sociedad, la economía y los ecosistemas. Esto se da no solo en un espacio geográfico dado sino a escala regional o global, y se produce en gran parte por la dependencia que tienen los diversos sectores de usuarios del agua respecto a la producción de bienes y prestación de servicios (Wilhite *et al.*, 2007), como es el caso, por ejemplo, de la agricultura, la minería, la industria y las ciudades. Estos impactos dependen no solo de las características físicas (meteorológicas, climáticas y del entorno geográfico), sino que, como puntualizan Wilhite *et al.* (*ídem*), son el resultado de la interacción del evento natural (eficiencias de la precipitación debido a la variabilidad climática natural) y la demanda de agua y otros recursos naturales por los sistemas de consumo de los seres humanos.

En esta perspectiva, si un periodo de sequía ocurre en un área geográfica en la que los seres humanos mantienen una presión muy alta sobre el recurso agua y sus hábitos de consumo están orientados hacia el derroche, los impactos serán mucho más severos que en lugares donde el consumo es racional. Por otro lado, si se comparan dos eventos de sequía de la misma duración e intensidad, uno que sucedió hace dos o más siglos y el otro ocurrido en 2015, en este se observan impactos más severos debido a los cambios en las características de la sociedad (p. ej., un mayor número de habitantes) y de los ecosistemas de los que se demandan más recursos. En ambos casos, la vulnerabilidad a las sequías es mayor.

Por tanto, la magnitud y características de los impactos de la sequía (duración, distribución y persistencia) están estrechamente relacionadas con la vulnerabilidad, la que a su vez está en relación inversa con el grado de desarrollo

social y económico de las áreas afectadas (Velasco *et al.*, 2005: 38), y al revisar lo anterior, así como el potencial de adaptación, se puede identificar la vulnerabilidad con mayor facilidad (Charusombat, 2011).

Por su naturaleza, muchos impactos, vulnerabilidades y riesgos de las sequías son preocupación de tomadores de decisiones, quienes necesitan información para ayudar a prepararse para las sequías, canalizar recursos con eficiencia y reducir los efectos (Agget, 2012), por tanto, la *evaluación de la vulnerabilidad*, definida por CWCB-AMEC (2013) como el proceso de identificar, cuantificar y priorizar (o contar) las vulnerabilidades en un sistema, es clave para la prevención y mitigación exitosas.

Cambio de paradigma en México

La sequía se ha presentado de manera recurrente en México. En las últimas dos décadas, varios estados del país han padecido sequías con impactos severos. Por ejemplo, en 2011 tuvo lugar la peor sequía desde 1941 y casi todo el territorio mexicano experimentó en algún grado este fenómeno meteorológico (CONAGUA, 2014a).

Al menos hasta antes de 2014, en México ha imperado el *enfoque reactivo* en la gestión de las sequías, que está basado en la aplicación de medidas y acciones de respuesta *después* de que se conocen los estragos causados por la sequía (Ortega-Gaucin, 2014: 143). Este enfoque predomina a pesar de la importancia que han tenido las sequías en México y de los impactos negativos que siguen causando actualmente (Ortega-Gaucin y Velasco, 2013: 88). Particularmente, la gestión del agua en el norte de México propicia que las sequías adquieran dimensiones de desastre (Magaña, 2012).

Se considera que el enfoque reactivo resulta inútil para disminuir la vulnerabilidad debido principalmente a que los recursos no están enfocados en prevenir los impactos sino en la remediación, y por la tardanza en el ejercicio de los recursos públicos destinados para mitigar las consecuencias de las sequías (CONAGUA, 2014a).

Por ello, a partir de 2012 en México se empezaron a dar las primeras señales de cambio hacia un *enfoque proactivo o preventivo*, que se caracteriza por «el diseño de estrategias que se pondrán en marcha con antelación a la ocurrencia de una sequía para prevenir y mitigar el nivel de exposición al riesgo y, por lo tanto, la vulnerabilidad ante los impactos» (Ortega-Gaucin, 2014: 143, 146). Este enfoque está caracterizado por el desarrollo de programas gubernamentales preimpacto (preventivos) que se emprenden para reducir la vulnerabilidad y los impactos (Wilhite *et al.*, 2014).

Como parte de estas señales de cambio, en México se empezó a implementar el Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE), que es considerado el eje fundamental de la nueva política pública del gobierno federal para la gestión de la sequía, tiene el objetivo de «Elaborar los programas de medidas para prevenir y enfrentar la sequía a nivel de cuenca o grupos de cuenca, desarrollar capacidad institucional local y al mismo tiempo coordinar y ejecutar acciones para mitigar sequías existentes.» (CONAGUA, 2014a: 26), y sus dos componentes principales son el monitoreo de la sequía y la difusión de la información correspondiente, así como la evaluación y reducción de la vulnerabilidad (CONAGUA, 2014a: 24-25).

Como resultado de la implementación del PRONACOSE, la Comisión Nacional del Agua (órgano administrativo federal responsable de la gestión de las aguas nacionales de México y sus bienes públicos) ordenó la elaboración de 39 Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS), 26 de los cuales corresponden a igual número de Consejos de Cuenca y 13 a ciudades mexicanas. Estos programas particulares tienen como objetivo general «minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales ante eventuales situaciones de escasez temporal de agua, en un marco de un desarrollo sustentable» (CONAGUA, 2015a).

Los PMPMS fueron elaborados por equipos de investigación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y de varias universidades mexicanas, en coordinación con los Consejos de Cuenca. Estos últimos son órganos colegiados integrados por servidores públicos, representantes de los usuarios del agua y de organizaciones de la sociedad, y cuya jurisdicción corresponde a una cuenca o región hidrológica específica (DOF, 1992).

Para la elaboración de estos programas de medidas, el IMTA elaboró la *Guía para la Formulación de Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía* (IMTA, 2013), en la cual se propusieron los ocho pasos siguientes para la planeación de la gestión de la sequía en cada Consejo de Cuenca: definir las partes interesadas, los objetivos de cada plan y los principios; caracterizar la sequía histórica y la evaluación del impacto; evaluar la vulnerabilidad a la sequía; proponer las medidas de mitigación de la sequía y las estrategias de respuesta; determinar las etapas de sequía, los puntos detonantes y los objetivos de respuesta; elaborar el programa de respuesta a las etapas de sequía, establecer la implementación y el monitoreo, y hacer el plan de revisión y actualización. La evaluación de la vulnerabilidad está ubicada en el documento como una etapa previa y fundamental para la determinación de las medidas de prevención y mitigación.

En esta guía no se propuso una metodología en particular ni se incluyeron lineamientos para evaluar la vulnerabilidad, dado que CONAGUA planteó que de esta forma los equipos de investigación definirían cómo abordar este tema en función de las características específicas de cada Consejo de Cuenca.

El proceso de elaboración de los PMPMS arrancó el 17 de abril de 2013 con la capacitación a integrantes de los Consejos de Cuenca sobre el uso de la guía del IMTA (2013) y terminó el 17 de diciembre de ese mismo año con la aprobación de los programas de medidas.

Después de haber sido elaborados, los PMPMS fueron puestos en línea a disposición del público en el portal del PRONACOSE (www.pronacose.gob.mx). Tal como se previó, la metodología para evaluar la vulnerabilidad fue definida de manera no uniforme en estos programas.

Este ejercicio de creación de los programas de medidas no tiene precedente en la historia de la gestión del agua en México y representa un primer paso para el cambio de paradigma hacia un enfoque preventivo o de gestión del riesgo que reduzca la vulnerabilidad a las sequías. Riesgo es el producto tanto de la exposición de una región a un evento de sequía (por ejemplo, la probabilidad de que ocurra a varios niveles de severidad) y la vulnerabilidad a ese evento (Blaikie *et al.*, 1994, citado por Wilhite *et al.*, 2014).

En esta perspectiva, analizar el componente de vulnerabilidad de los PMPMS y sus implicaciones en la definición de medidas preventivas vendría a ser una de las tareas primordiales para los investigadores y centros de investigación, en la medida en que se identifiquen oportunidades y se sugieran alternativas que permitan actualizar los PMPMS.

Por tanto, el objetivo de este trabajo es analizar el componente de vulnerabilidad a la sequía contenido en los 26 PMPMS de los Consejos de Cuenca de México para comparar propuestas metodológicas y sus implicaciones en la definición de medidas de prevención, así como identificar oportunidades de actualización en este tema.

Materiales y métodos

Los insumos principales del presente trabajo fueron los 26 Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía de los Consejos de Cuenca de México, cuya última versión fue descargada de CONAGUA (2015a).

Los PMPMS mencionados son de los Consejos de Cuenca siguientes: Altiplano, Alto Noroeste, Baja California Municipio de San Luis Río Colorado, Baja California Sur, Costa de

Chiapas, Costa de Guerrero, Costa de Oaxaca, Costa Pacífico Centro, Lerma Chapala, Mocolito al Quelite, Nazas Aguanaval, Península de Yucatán, Río Balsas, Río Bravo, Río Coatzacoalcos, Río Fernando Soto La Marina, Río Mayo, Río Pánuco, Río Papaloapan, Río Santiago, Ríos Fuerte y Sinaloa, Ríos Grijalva y Usumacinta, Ríos Presidio al San Pedro, Ríos Tuxpan al Jamapa, Ríos Yaqui y Mátape, y Valle de México.

Se revisó cada uno de los PMPMS y al final se analizó comparativamente el apartado de vulnerabilidad, con énfasis en los elementos siguientes: metodología, factores o indicadores de vulnerabilidad, escala espacial, fórmula para determinar el índice de vulnerabilidad, resultados del cálculo, cartografía y la vinculación entre los resultados y las medidas preventivas y de mitigación de la sequía.

Una vez que se identificó la metodología empleada en cada PMPMS, se procedió a comparar los elementos mencionados en el párrafo anterior y se revisaron los cálculos con el fin de confirmar en su caso los resultados plasmados en los PMPMS.

Finalmente, se verificó si las medidas de prevención y mitigación de los PMPMS se derivaron directamente de la evaluación de vulnerabilidad, dado que esta evaluación se considera un ejercicio de diagnóstico y las políticas que se propongan deben responder a vulnerabilidades concretas (Iglesias, 2014).

Resultados y discusión

A continuación, se exponen los aspectos más relevantes del análisis.

Metodología y factores o indicadores de vulnerabilidad.

En los 26 PMPMS se identificaron los tres ejercicios metodológicos siguientes para evaluar la vulnerabilidad a la sequía:

1) La metodología expuesta en el documento *Análisis espacial de las regiones más vulnerables ante las sequías en México* (CONAGUA, 2012), que utiliza «las células de

planeación» como unidad básica espacial y las define como «área geográfica formada por un conjunto de municipios que pertenecen a un solo estado, dentro de los límites de una subregión hidrológica, de tal manera que existen un total de 168 células en todo el territorio mexicano». Incluye seis y cinco indicadores.

2) La metodología del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), que utiliza la cuenca como unidad básica especial (IMTA, 2014) y que fue desarrollada para la elaboración de PMPMS. Incluye 11 indicadores (solo ocho de ellos en un caso).

3) La metodología que utiliza el Sistema de Evaluación del Riesgo Extremo de Sequías (SERES) y la aplicación SuperDecisions, con la cuenca hidrológica y el municipio como unidades básicas (CONAGUA, 2014b). Incluye 11 indicadores.

En dos PMPMS no se incluyó metodología para evaluar la vulnerabilidad ni se presentaron resultados. En otros casos sí se exponen índices de vulnerabilidad e incluso cartografía, sin embargo, están basados en tablas a las que les faltan datos, por ejemplo, impactos en la agricultura, frecuencia de sequías, indicadores del grado de exposición, etc. (Cuadros 1 y 2).

Cabe mencionar que algunos PMPMS emplearon la misma metodología pero con variantes, por ejemplo, en el número de indicadores, en los recursos de sistemas de información geográfica y en el tipo de unidad espacial básica, entre otros. Además, en el caso de los Consejos de Cuenca Costa de Guerrero y Costa de Oaxaca se define la vulnerabilidad sin evaluarla, y de los 26 programas solo 11 proporcionan la cartografía correspondiente con los resultados de la evaluación de vulnerabilidad.

La metodología más utilizada es la de CONAGUA (15 veces), y le siguen la del IMTA (cuatro veces) y la SERES/SuperDecisions (tres veces). En dos PMPMS se evalúa la vulnerabilidad utilizando primero la de CONAGUA y después la del IMTA (Cuadro 1).

Cuadro 1. Listado de PMPMS y la metodología utilizada.

PMPMS de Consejo de Cuenca	Metodología
Altiplano	CONAGUA
Alto Noroeste	CONAGUA
Baja California y Municipio de San Luis Río Colorado	IMTA
Baja California Sur	IMTA
Costa de Chiapas	CONAGUA
Costa de Guerrero	No incluye
Costa de Oaxaca	No incluye
Costa Pacífico Centro	CONAGUA / IMTA
Lerma Chapala	CONAGUA / IMTA
Ríos Mocorito al Quelite	SERES / SuperDecisions
Nazas-Aguanaval	CONAGUA
Península de Yucatán	CONAGUA
Río Balsas	IMTA
Río Bravo	IMTA
Río Coatzacoalcos	CONAGUA
Río Fernando - Soto La Marina	CONAGUA
Río Mayo	CONAGUA
Río Pánuco	CONAGUA
Río Papaloapan	CONAGUA
Río Santiago	CONAGUA
Ríos Fuerte y Sinaloa	SERES / SuperDecisions
Ríos Grijalva y Usumacinta	CONAGUA
Ríos Presidio al San Pedro	SERES / SuperDecisions
Ríos Tuxpan al Jamapa	CONAGUA
Ríos Yaqui y Mátape	CONAGUA
Valle de México	CONAGUA

En cuanto a los resultados de la evaluación de vulnerabilidad, solo en los PMPMS elaborados por el IMTA fue posible reproducir los cálculos hasta confirmar los datos resultantes, dada la forma detallada y sistemática con que se expuso en el documento el tema de vulnerabilidad.

Los ejercicios metodológicos de los PMPMS están basados en la definición de vulnerabilidad del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre

el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), según la cual esta es la combinación de tres factores: *grado de exposición (ge)*, *sensibilidad (se)* y *capacidad adaptativa (ca)* (IPCC, 2007). Derivado de ahí, el método correspondiente utilizado en los programas de medidas fue en general el aditivo, donde la vulnerabilidad (v) = $ge + se - ca$.

Cuadro 2. Indicadores seleccionados en los PMPMS.

Número	Indicadores
11	Grado de presión sobre el recurso hídrico (oferta/demanda), grado de explotación de los acuíferos, densidad de población, valor de la producción del sector agrícola (riego y temporal), disponibilidad natural per cápita de aguas superficiales, disponibilidad natural per cápita de aguas subterráneas, población económicamente activa desocupada, deforestación, cobertura vegetal natural, áreas naturales protegidas e índice de marginación.
8	Brecha hídrica, frecuencia de sequías, población, Valor Agregado Censal Bruto (VABC), superficie cultivada por municipio, índice de marginación, altitud, calidad del agua.
6	Relación brecha hídrica y oferta sustentable, frecuencia de sequías por tipo, población, PIB, impacto económico en la agricultura, sobreexplotación de acuíferos.
5	Relación brecha hídrica a 2030 / oferta sustentable, población, PIB, impacto en la agricultura, sobreexplotación en acuíferos.

En los programas de medidas en que se escogieron 11 indicadores, se calculó la vulnerabilidad económica, social, ambiental y global (Cuadro 3). Aunque varios optaron por igual número de indicadores, hay casos en que estos no son idénticos, por ejemplo, los Consejos de Cuenca Río Coatzacoalcos y Río Mayo seleccionaron las mismas seis variables excepto una: el primero incluyó «impacto económico en la actividad agropecuaria» y el segundo «superficie agrícola». Por otra parte, el programa del Consejo de Cuenca Península de Yucatán optó por los indicadores siguientes que no se incluyeron en ningún otro PMPMS: Valor Agregado Censal Bruto, superficie cultivada por municipio, altitud y calidad del agua.

La metodología utilizada en los PMPMS para evaluar la vulnerabilidad abordó únicamente datos cuantitativos. La escala de evaluación suele determinar el tipo de datos que deberán recabarse, por ejemplo, la evaluación de la vulnerabilidad a gran escala utiliza datos cuantitativos, provenientes principalmente de fuentes gubernamentales, y a escalas pequeñas

se agregan también datos cualitativos, básicamente surgidos de entrevistas, reuniones con usuarios del agua, visitas en sitio, grupos focales, etc. (De Stefano *et al.*, 2015).

Cuadro 3. Tipo de vulnerabilidad y número de indicadores de los PMPMS.

PMPMS de Consejo de Cuenca	Tipo de vulnerabilidad	Indicadores
Altiplano	Global	6
Alto Noroeste	Global, social, económica y ambiental	6
Baja California y Mpio. de San Luis Río Colorado	Global y por acuífero	6
Baja California Sur	Global y por acuífero	6
Costa de Chiapas	Global	5
Costa de Guerrero	Ninguna	0
Costa de Oaxaca	Ninguna	0
Costa Pacífico Centro	Global, social, económica y ambiental	11
Lerma Chapala	Global, social, económica y ambiental	11
Ríos Mocorito al Quehite	Global, social, económica y ambiental	11
Nazas-Aguanaval	Global	6
Península de Yucatán	Global	8
Río Balsas	Global, social, económica y ambiental	11
Río Bravo	Global, social, económica y ambiental	11
Río Coatzacoalcos	Global	6
Río Fernando - Soto La Marina	Global, social, económica y ambiental	11
Río Mayo	Global	6
Río Pánuco	Global, social, económica y ambiental	11
Río Papaloapan	Global	6
Río Santiago	Global	6
Ríos Fuerte y Sinaloa	Global, social, económica y ambiental	11
Ríos Grijalva y Usumacinta	Global	6
Ríos Presidio al San Pedro	Global, social, económica y ambiental	11
Ríos Tuxpan al Jamapa	Global	6
Ríos Yaqui y Mátape	Global	6
Valle de México	Global	5

Escalas espaciales

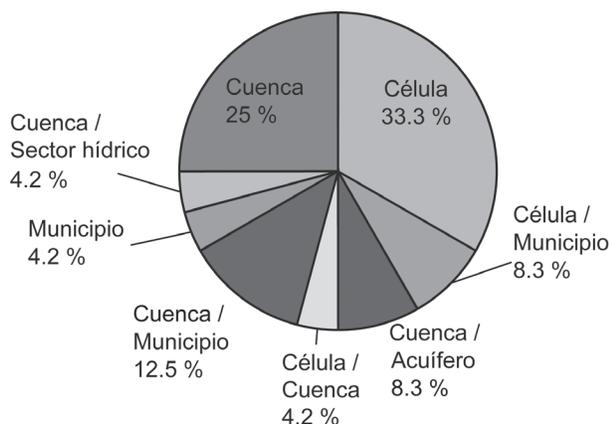
Las unidades espaciales básicas identificadas en los PMPMS analizados son la célula de planeación, la cuenca hidrológica, el municipio, el acuífero y el sector hídrico. Salvo en el caso de la evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos, no se encontraron resultados a escalas más finas, por ejemplo, sectores (agrícola, ganadero, industrial, servicios, centros de población rurales, etc.), distritos de riego y bienes de infraestructura pública (presas, sistemas de agua potable, plantas de tratamiento de aguas residuales, etc.) (Figura 1).

Figura 1. Ejemplos de escalas espaciales para evaluar la vulnerabilidad a la sequía, de las más gruesas a las más finas.



En los 24 PMPMS que sí evaluaron la vulnerabilidad a la sequía, la escala especial de las cuencas hidrológicas y las células de planeación constituyeron la mayoría (58.3%) y las escalas mixtas fueron el 37.5%. En general, en estos programas no se fundamenta por qué seleccionaron una unidad espacial determinada o dos de ellas (modelo mixto) (Cuadro 4 y Figura 2).

Figura 2. Proporción de las escalas espaciales utilizadas en 24 PMPMS.



La evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos representa un ejercicio relevante no solo porque se trata de una escala fina, sino porque es un tema sensible para sectores y territorios que dependen completamente del agua subterránea para todas sus actividades.

Cuadro 4. Escala espacial en los PMPMS.

PMPMS de Consejo de Cuenca	Metodología
Altiplano	Célula de planeación
Alto Noroeste	Célula de planeación / Municipio
Baja California y Mpio. de San Luis Río Colorado	Cuenca hidrológica / Acuífero
Baja California Sur	Cuenca hidrológica / Acuífero
Costa de Chiapas	Célula de planeación
Costa de Guerrero	
Costa de Oaxaca	
Costa Pacífico Centro	Célula de planeación / Municipio
Lerma Chapala	Célula de planeación / Cuenca hidrológica
Ríos Mocerito al Quelite	Cuenca hidrológica / Municipio
Nazas-Aguanaval	Célula de planeación
Península de Yucatán	Municipio
Río Balsas	Cuenca hidrológica / Sector hídrico
Río Bravo	Cuenca hidrológica
Río Coatzacoalcos	Cuenca hidrológica
Río Fernando - Soto La Marina	Cuenca hidrológica
Río Mayo	Célula de planeación
Río Pánuco	Cuenca hidrológica
Río Papaloapan	Cuenca hidrológica
Río Santiago	Célula de planeación
Ríos Fuerte y Sinaloa	Cuenca hidrológica / Municipio
Ríos Grijalva y Usumacinta	Células de planeación
Ríos Presidio al San Pedro	Cuenca hidrológica / Municipio
Ríos Tuxpan al Jamapa	Cuenca hidrológica
Ríos Yaqui y Mátape	Célula de planeación
Valle de México	Célula de planeación

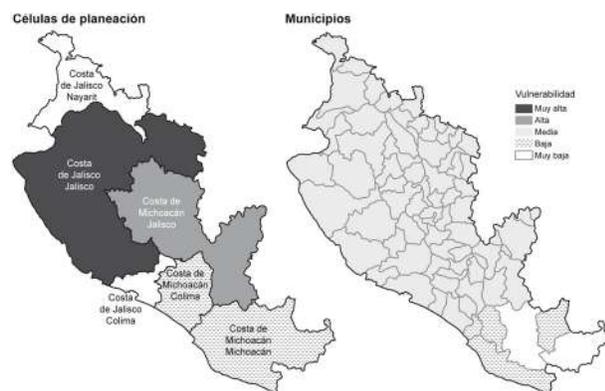
La evaluación de la vulnerabilidad se torna entonces en un problema de escalas porque se trata de cómo resolver efectivamente cuestiones de diferentes magnitudes (efectos de sequías en agricultura, ganadería, industria, bosques, ciudades, grupos sociales, ecosistemas, etc.), políticas con objetivos diversos y posturas de los ámbitos gubernamentales y de

usuarios del agua no siempre coincidentes. El problema de las escalas ha emergido como una principal y más grande preocupación ya que proliferan esfuerzos globales para implementar políticas de sustentabilidad (*vid.* Bressers y Rossenbaum, 2003).

Un ejemplo que muestra la importancia de discutir y explorar las escalas de evaluación de la vulnerabilidad es el PMPMS del Consejo de Cuenca Costa Pacífico Centro, en el cual se presentan dos mapas de vulnerabilidad: el primero a escala de células de planeación y el segundo a escala de municipios (CONAGUA, 2015b: 203-204) (Figura 3). Sin mencionar las escalas desiguales, en este programa solo se atribuyen los contrastes entre ambos por la diferencia del número de indicadores (seis en el primer caso y 11 en el segundo) y el peso asignado a cada uno de ellos (pesos iguales en el primero caso y pesos ponderados en el segundo). Una célula de planeación abarca varios municipios, por tanto, estos representan una escala más fina.

El peso asignado a cada indicador es también un elemento importante porque influye en los resultados de la evaluación. La metodología de CONAGUA (2012) asigna peso igual (1/6) a cada uno de los seis indicadores, en cambio, en la del IMTA se determinaron los pesos ponderados de los 11 indicadores mediante el software SuperDecisions (SEMARNAT-IMTA, 2014:83).

Figura 3. Diferencias entre la cartografía de vulnerabilidad en el Consejo de Cuenca Costa Pacífico Centro.



Como se observa en la Figura 3, en ambos mapas solo el índice de vulnerabilidad Baja coincide en algunos municipios que están incluidos en las Células de Planeación Costa de Michoacán Michoacán y Costa de Michoacán Colima. En el resto del territorio el contraste es notorio, por ejemplo, la célula Costa de Jalisco Jalisco aparece con un índice de vulnerabilidad Muy alta pero con la escala de municipios es una vulnerabilidad Media.

Se asume que a escala más fina, la evaluación de la vulnerabilidad es más precisa por varias razones, entre ellas las siguientes: se efectúa sobre un territorio o un ámbito más puntual, los datos son asequibles (p. ej., de cosechas, de daños por sequía, etc.), facilita la implementación y evaluación de políticas, se focaliza la inversión pública en prevención y mitigación en necesidades concretas, y se puede utilizar información cualitativa, especialmente en casos en que los datos estadísticos son insuficientes.

Correlación entre resultados de vulnerabilidad y medidas preventivas y de mitigación

En los PMPMS en que se calculó la vulnerabilidad no se muestra ni se explica con claridad la forma en que se utilizaron los resultados (índices de vulnerabilidad) para fundamentar la selección de las medidas preventivas y de mitigación enunciadas o la prioridad de estas.

Por ejemplo, en algunos PMPMS se relaciona el tema de la vulnerabilidad con los impactos de la sequía y en otros se considera que las estrategias que se adopten para afrontar este fenómeno natural dependen principalmente de la fase en que este se encuentre. Solo en cuatro casos hay una aproximación para establecer este vínculo:

a) El PMPMS del Consejo de Cuenca Península de Yucatán establece metas que están en función del nivel de vulnerabilidad, por ejemplo, para la etapa anormalmente seca de sequía se propone como meta «Informar a los municipios más vulnerables del riesgo de que se presente una sequía».

b) En el PMPMS del Consejo de Cuenca Río Bravo se asocian las fases de sequía (D0 – anormalmente seco, D1 – sequía moderada, D2 – sequía severa, D3 – sequía extrema y D4 – sequía extraordinaria) con cada grado de vulnerabilidad (Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy alto). Sin embargo, no se muestra que cada medida preventiva y de mitigación se derivó de un índice de vulnerabilidad calculado ni se explica el mecanismo para asociar una medida con una cuenca concreta (en la tabla o cartografía correspondiente).

c) En el PMPMS del Consejo de Cuenca del Altiplano y en otros, se relaciona el grado de vulnerabilidad con la fase de sequía pero para estimar cómo sería el impacto, por ejemplo, en una célula de planeación con un grado de vulnerabilidad media el impacto sería alto si ocurriera una sequía severa (D2). Luego se enlistan acciones de respuesta para cada etapa de sequía (UJED, 2014a: 95).

Cuadro 5. Forma en que el PMPMS de Consejo de Cuenca del Altiplano asoció índice de vulnerabilidad, fase de sequía y medidas.

Fase de sequía	Grado de vulnerabilidad				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
D0	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto
D1	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
D2	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto
D3	Medio	Alto	Alto	Alto	Alto
D4	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

Fase de sequía	Ejemplos de medidas preventivas o de mitigación asociadas a fase de sequía
D0	Programar el tipo de cultivo
D1	Promover la reducción del consumo de agua
D2	Rehabilitación de pozos
D3	Racionar el uso de agua
D4	Priorizar el uso de reservas de agua

a) En el PMPMS del Consejo de Cuenca Nazas-Aguanaval se menciona que se realizó una selección jerarquizada de las medidas preventivas y de mitigación considerando el análisis de vulnerabilidad, sin embargo, en las medidas enlistadas no aparece el grado de

vulnerabilidad (de Muy baja a Muy alta) que está asociado a células de planeación concretas (UJED, 2014b: 92).

El vínculo entre vulnerabilidad y medidas concretas es fundamental en los PMPMS porque si los índices de vulnerabilidad no se toman en cuenta en la *gestión de las sequías* (definida esta como la participación de instituciones y usuarios del agua en actividades relacionadas con la sequía), entonces no tiene caso evaluar la vulnerabilidad. Precisamente, uno de los aspectos principales de cualquier gestión de la sequía es el análisis de qué y quiénes son vulnerables, así como conocer las causas (Wilhelmi y Wilhite, 2002). Por ello, la evaluación de la vulnerabilidad tiene que fundamentar el proceso de toma de decisiones para seleccionar, explotar, operar y monitorear mejores medidas y estrategias de prevención y mitigación.

En los PMPMS se menciona que la evaluación de la vulnerabilidad es un elemento fundamental para estimar los impactos potenciales de la sequía y como factor para determinar el riesgo, sin embargo, no se enfatiza su utilidad como un ejercicio de diagnóstico que lleva a que las políticas respondan a vulnerabilidades concretas, o como una herramienta en el proceso de toma de decisiones para la gestión de la sequía.

Conclusiones

Aunque la elaboración de los PMPMS es un ejercicio sin precedente en México, que representa un cambio de paradigma hacia el enfoque preventivo o proactivo en la gestión de las sequías, no se logró en esta primera etapa que la evaluación de la vulnerabilidad fuera útil en todos los casos para sustentar medidas preventivas y de mitigación a detalle. Solo en el 15.4% se utilizó de alguna manera los resultados de la evaluación.

Tal como están presentadas en los PMPMS, las medidas preventivas y de mitigación parecen propuestas o políticas tradicionales de reducción de brechas, por ejemplo, la brecha

hídrica (diferencia entre la demanda y la oferta). En cambio, la evaluación de la vulnerabilidad en las escalas y con las variables apropiadas representa un ejercicio sistemático e integral de prevención.

Otra cuestión importante en los programas de medidas es la cartografía que muestra las zonas más vulnerables en cada Consejo de Cuenca y que debe ser utilizada en los cálculos puntuales de vulnerabilidad base. Una vez determinada esta, se podrá reducir la vulnerabilidad a través de medidas estructurales (construcción de infraestructura) y no estructurales (políticas públicas, concientización, investigación, reglas de operación, participación pública e información a la población), orientar de manera más racional el ejercicio presupuestal de los gobiernos y reducir al mismo tiempo las brechas existentes.

En el tema de las unidades espaciales básicas, las escalas gruesas no necesariamente sirven para reflejar vulnerabilidades puntuales, de ahí que las escalas más finas, como sectores, ciudades, distritos de riego, colonias, acuíferos, organismos operadores de agua, infraestructura hidráulica (presas, cuerpos de agua superficial), etc., permiten con mayor precisión vincular proyectos de inversión, acciones y medidas de prevención específicos a vulnerabilidades particulares.

Un ejemplo de escala fina en dos PMPMS es la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos pues representa un ejercicio relevante no solo por la escala, sino porque es un tema sensible para sectores y territorios que dependen completamente del agua subterránea para todas sus actividades.

En la etapa en la que se encuentran los PMPMS (actualización con escalas de mayor detalle), la evaluación de la vulnerabilidad es una herramienta útil porque se puede emplear para apoyar la toma de decisiones; seleccionar, explotar, operar y monitorear mejores medidas y estrategias de prevención y mitigación; fundamentar la priorización de estas, y avanzar en la determinación del riesgo.

El hecho de que se hayan ensayado enfoques metodológicos, aún con sus áreas de oportunidad, representa también un punto de partida para discutir y generar mejores opciones en esta materia, sin embargo, queda pendiente una validación de los resultados de cada enfoque utilizado.

La forma en que se adoptó la metodología para evaluar la vulnerabilidad es un reflejo de la libertad que CONAGUA dio a cada equipo de investigación, dado que no hubo criterios o lineamientos que guiaran la selección en esta materia. Por tanto, al menos en el tema de la vulnerabilidad, ha sido un ejercicio exploratorio con diversas oportunidades de mejora, por ejemplo, sería pertinente identificar cuáles factores e indicadores justifican una u otra metodología, o cuáles son las escalas que mejor reflejan la vulnerabilidad en un área geográfica determinada.

Por definición, los PMPMS deben tener la capacidad de pasar de un estado de vulnerabilidad determinado a otro estado de menor vulnerabilidad. Y si la vulnerabilidad no está bien evaluada, ni se logra reducir ni sirve para calcular el riesgo. Por tanto, falta aún determinar la vulnerabilidad base y consecuentemente la vulnerabilidad futura (proceso sistemático de investigación, gestión y política pública).

Dado el tipo y naturaleza de las medidas preventivas y de mitigación de la sequía plasmadas en los PMPMS, con ellas se puede justificar la inversión en infraestructura para reducir la vulnerabilidad. Actualmente, la mayoría de los programas del gobierno federal manejados por indicadores está orientada a abatir déficits o brechas independientemente de si la intención es reducir vulnerabilidades puntuales, sin embargo, cuando se evalúa la vulnerabilidad a la sequía en forma sistemática se crean mejores condiciones para la prevención, la adaptación y los niveles de resiliencia en diferentes escalas (nacional, estatal, regional, comunitaria).

Literatura citada

- AGGETT, G., 2012. *Overview of the Colorado Drought Vulnerability Assessment by Sector. Methods, Results, Challenges and Opportunities*. [en línea] Colorado: CWCB Statewide Drought Conference. Disponible en: <<http://cwcbweblink.state.co.us/WebLink/ElectronicFile.aspx?docid=168113&searchid=ff196f20-232c-4c8c-ae97-10d5e4baeee5&dbid=0>> [Consultado el 14 de septiembre de 2015].
- BLAIKIE, P., CANNON, T., DAVIS, I. Y WISNER, B., 1994. *At Risk: Natural Hazards People's Vulnerability, and Disasters*. Londres: Routledge Publishers.
- BRESSERS, H. TH. A. Y ROSSENBAUM, W. A., 2003. Social Scales, Sustainability, and Governance: An Introduction. En: Bressers, H. Th. A. y Rossenbaum, W. A., eds., 2003 *Achieving Sustainable Development. The Challenge of Governance Across Social Scales*. Westport, Connecticut: Praeger Publishing.
- CHARUSOMBAT, U., 2011. A Hydroclimatological Assessment of Regional Drought Vulnerability: A Case Study of Indiana Droughts. *Earth Interactions*, 15(26).
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), 2012. *Análisis espacial de las regiones más vulnerables ante las sequías en México*. México, D.F.: SEMARNAT, 43 pp.
- _____, 2013. *Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía Consejo de Cuenca Alto Noroeste, 1.ª ver.* [en línea] Comisión Nacional del Agua. Disponible en: <http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/contenido/documentos/IMTA_CONAGUA%20Cuenca%20Noroeste%20salida.pdf> [Consultado el 25 de septiembre de 2015].
- _____, 2014a. *Política Pública Nacional para la Sequía. Documento rector*. [en línea] Comisión Nacional del Agua. Disponible en: <<http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/Contenido/Documentos/Documento%20Marco.pdf>>. [Consultado el 2 de octubre de 2015].
- _____, 2014b. *Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía. Consejo de Cuenca Ríos Fuerte y Sinaloa*. [en línea] Comisión Nacional del Agua. Disponible en: <http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/contenido/documentos/PMPMS_Fuerte_y_Sinaloa_2a_version.pdf>. [Consultado el 25 de septiembre de 2015].
- _____, 2015a. *PMPMS por Consejo de Cuenca*. [en línea] Comisión Nacional del Agua. Disponible en: <<http://www.pronacose.gob.mx/Contenido.aspx?n1=7&n2=2117&n3=2117>>. [Última modificación: 17 de marzo de 2015. Consultado el 21 de septiembre de 2015].
- _____, 2015b. *Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía en la Cuenca Costa Pacífico Centro. Informe Final*. [en línea] Comisión Nacional del Agua. Disponible en: <http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/contenido/documentos/PMPMS_Pacifico_Actualizado_2015_tama%C3%B1o_reducido.pdf>. [Consultado el 12 de septiembre de 2015].
- CWCB-AMEC, 2013. *Drought vulnerability assessment technical information. Annex B to the Colorado Drought Mitigation and Response Plan*. [en línea] Colorado: State of Colorado. Disponible en: <<http://cwcb.state.co.us/water-management/drought/Documents/StateDroughtMitPlan2013/AnnexBDroughtVulnerabilityAssessmentTechnicalInformation.pdf>> [Consultado el 24 de septiembre de 2015].
- DE STEFANO, L., GONZÁLEZ-TÁNAGO, I., BALLESTEROS, M., URQUIJO, J., BLAUHUT, V., STAGGE, J. H., Y STAHL, K., 2015. *Methodological Approach Considering Different Factors Influencing Vulnerability – Pan-European Scale. Technical Report No. 26*. [en línea] DROUGHT-R&SPI (Fostering European Drought Research and Science-Policy Interfacing). Disponible en: <<http://www.eu-drought.org/media/default.aspx/emma/org/10859964/DROUGHT-RSPI+Technical+Report+No.26++Methodological+approach+considering+different+factors+influencing+vulnerability++pan-European+scale.pdf>>. [Consultado el 24 de septiembre de 2015].
- DOF (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN), 1992. *Ley de Aguas Nacionales DOF 11-08-2014*. México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.
- IGLESIAS, A., 2014. Vulnerabilidad a la sequía. [entrevista] (Comunicación personal, 26 de noviembre de 2014, México, D.F.).
- IMTA, 2013. *Guía para la formulación de Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía*. [pdf] México, D.F.: Comisión Nacional del Agua / Programa Nacional contra la Sequía. Disponible en: <http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/contenido/documentos/Gu%C3%ADa_elaboracion_PMPMS.pdf>. [Consultado el 5 de agosto de 2015].
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [en línea]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry, M. L., Canziani, O.F., Palutikof, J. P., Van Der Linden, P. J. y Hanson, C. E., eds. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf> [Consultado el 1 de octubre de 2015].
- MAGAÑA-RUEDA, V., 2012. *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ANTE CAMBIO CLIMÁTICO*. MÉXICO, D.F.: INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC) / GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY (GEF) / PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD).
- ORTEGA-GAUCIN, D., 2014. Sequía en México y Estados Unidos de América: diferencias esenciales de vulnerabilidad y enfoques en la atención al fenómeno. *Frontera Norte*, 26(3): 141-148.
- ORTEGA-GAUCIN, D. Y VELASCO, I., 2013. Aspectos Socioeconómicos y Ambientales de las Sequías en México. *Aqua-LAC*, 5(2): 78-90.
- SEMARNAT-IMTA, 2014. *Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía. Consejo de Cuenca Río Bravo*. [en línea] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Disponible en: <http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/contenido/documentos/PMPMS_R%C3%ADoBravo_122014.pdf>. [Consultado el 25 de septiembre de 2015].
- UJED (Universidad Juárez del Estado de Durango), 2014a. *Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS) en el Consejo de Cuenca del Altiplano*. [en línea] Comisión Nacional del Agua. Disponible en <http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/contenido/documentos/Altiplano_2014.pdf> [Consultado el 25 de septiembre de 2015].
- UJED (Universidad Juárez del Estado de Durango), 2014b. *Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS) en el Consejo de Cuenca Nazas-Aguanaval*. [en línea] Comisión Nacional del Agua. Disponible en <http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/contenido/documentos/Nazas-Aguanaval_2014.pdf> [Consultado el 25 de septiembre de 2015].
- VELASCO, I., OCHOA, L. Y GUTIÉRREZ, C., 2005. Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y Sociedad*, 17(34): 35-71.
- WILHELMI, O. V. Y WILHITE, D. A., 2002. Assessing vulnerability to agricultural drought: A Nebraska case study. *Natural Hazards*, 25: 37-58.
- WILHELMI, O. V., HUBBARD, K. G. Y WILHITE, D. A., 2002. Spatial Representation of Agroclimatology in a Study of Agricultural Drought. *International Journal of Climatology*, 22: 1399-1414.
- WILHITE, D. A., SIVAKUMAR, M. V. K., MANNAVA, V. K., PULWARTY, R., 2014. Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather and Climate Extremes*, 3: 4-13.
- WILHITE, D. A., SVOBODA, M. D. Y HAYES, M. J., 2007. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, 21: 763-774. 

Este artículo es citado así:

Meza-González, R. A., y O. F. Ibáñez-Hernández. 2015. Análisis de propuestas metodológicas sobre vulnerabilidad contenidas en los Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía de México. *TECNOCENCIA Chihuahua* 9(3): 180-191.

Resumen curricular del autor y coautores

RAÚL ALFREDO MEZA GONZÁLEZ. Ingeniero en Computación (2001) y Maestro en Ingeniería Ambiental y Ecosistemas (2012) por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Cursa actualmente el Doctorado en Investigación en El Colegio de Chihuahua con el tema de Vulnerabilidad a la Sequía en la mancha urbana de Ciudad Juárez y el Distrito de Riego 009. Es profesor de la UACJ e imparte los cursos de Ecología de la Frontera, Taller de Periodismo en la Red y Computación. Ha participado en equipos de investigación con los temas de vulnerabilidad a la sequía, residuos sólidos urbanos y energías alternativas.

OSCAR FIDENCIO IBÁÑEZ HERNÁNDEZ. Título de Ingeniero Civil (1986) por la Universidad Autónoma de Chihuahua y grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental (1991) por la Universidad de Texas en El Paso y grado de Doctor en Política y Políticas Ambientales (2008) por la Universidad Estatal de Colorado, Estados Unidos. Es profesor investigador en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Realiza investigación en políticas públicas y gestión sustentable de agua, sequía y energía. Imparte los cursos de Fundamentos de Investigación, Sustentabilidad en la Ingeniería Civil, Gerencia para el Desarrollo Sustentable, Políticas Públicas, Gestión de Residuos Sólidos, Energías Alternativas y Renovables, Manejo de Recursos Naturales. Ha realizado varios proyectos de investigación con financiamiento externo. Ha dirigido y concluido varias tesis de doctorado, maestría y licenciatura. Ha publicado varios capítulos de libros, artículos científicos y resúmenes en memorias de congresos nacionales e internacionales. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel I, cuenta con el nombramiento de Perfil Deseable por la SEP-PROMEP. Es coordinador de la maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Guía para autores de escritos científicos

Política editorial

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

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

Lineamientos generales

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

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

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

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

Manuscritos

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

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

Formato

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

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

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

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

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

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

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

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

¹ Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada, Km 1 de la Carretera Chihuahua-Cauhtémoc. 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

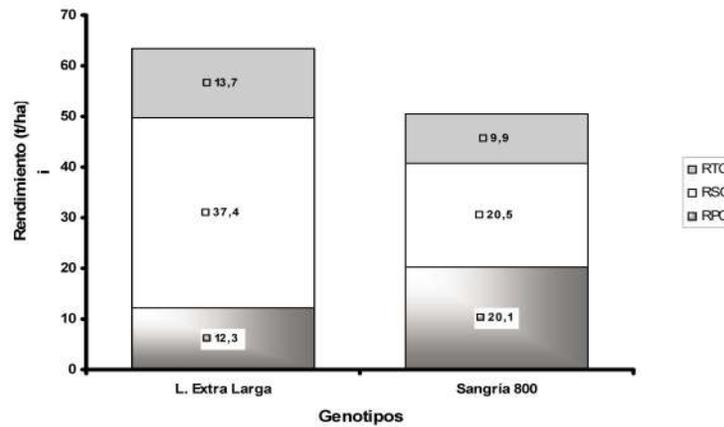
En las figuras no se debe duplicar la información presentada en los cuadros o viceversa. Se recomienda el uso de medidas de acuerdo al Sistema Métrico Decimal y las abreviaturas utilizadas deberán apearse a las recomendaciones que aparecen en la tabla que se anexa al presente documento.

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**



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

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>



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



Rodas



Pájaro



Los Mundos

ARTISTA: Willy Villanueva
EGRESADO DE LA FACULTAD DE ARTES, UACH