

ISSN: 2007-042X



Ciencia en la frontera

Revista de ciencia y tecnología de la UACJ

Arsénico en agua de pozos del sistema de abastecimiento de Ciudad Juárez, Chihuahua

Rosa Manuela Salas Escageda
Jorge Arturo Salas Plata
Mendoza
Luz Helena Sanín
Óscar S. Dena Ornelas

Odontología forense: la importancia de una base de datos de registros dentales en la comunidad de la UACJ como herramienta en identificación post-mortem

Juan Antonio Constandse
Ceceña

Gasto energético en reposo medido (método de la calorimetría indirecta) versus gasto energético en reposo estimado (ecuaciones estimativas o predictivas)

José Franco-Monsreal
Lidia Esther del Socorro
Serralta-Peraza
José Ricardo Hernández-Gómez
Erika Beatriz Lara-Zaragoza
Nemesio Villa-Ruano
Lizbeth Mota-Magaña



La exposición a bajas dosis de plomo en ratones CD-1 altera las actividades de las colinesterasas en órganos reproductores

López-Hernández Jessica
López-Durán Rosa
Vázquez-Trujillo Karinna
Salame-Méndez Arturo
García-Suárez Dolores
Serrano Héctor
Valencia-Quintana Rafael
Sánchez-Alarcón Juana
Salinas-Arreortua Noé
Gómez-Olivares José Luis

Calidad del aire y su relación con la percepción ambiental de adolescentes en Villahermosa, Tabasco

Gabriela Sastre-de Dios
Sergio Ramos-Herrera
Elizabeth Magaña-Villegas
Jesús Manuel Carrera-Veluta

Jonatan Torres Pérez
Jorge Alberto Pérez León
(Coordinadores)

VOLUMEN XIII, No. 2
2015

UACJ

Revista indexada en:
latindex

UACJ

Includes
abstracts
in English

Jonatan Torres Pérez
Jorge Alberto Pérez León
(Coordinadores)

UACJ



*Ciencia en la frontera:
revista de ciencia y tecnología
de la Universidad Autónoma
de Ciudad Juárez*

DIRECTORIO

Ricardo Duarte Jáquez
Rector

David Ramírez Perea
Secretario General

Manuel Loera de la Rosa
Secretario Académico

Luis Enrique Gutiérrez Casas
*Coordinador General de
Investigación y Posgrado*

Daniel Constandse Cortez
Director del ICB

Alejandro Martínez Martínez
Jefe del Departamento de Ciencias Químico Biológicas

Ramón Chavira Chavira
*Director General de Difusión
Cultural y Divulgación Científica*

Jorge Alberto Pérez León
Coordinador Editorial

COMITÉ EDITORIAL

María Socorro Espino Valdés
Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma
de Chihuahua

José Franco Monsreal
Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo

Héctor Hawley Morelos
Fiscalía del Estado de Justicia del Estado de
Chihuahua

Alejandra Vargas Caraveo
Facultad de Medicina, Universidad Complutense de
Madrid

Arturo Valdés Manzanilla
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Raúl Germán Bautista Margulis
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Anna Marín Bachs
Área de Salud y Nutrición de la Fundación Univer-
sitaria Iberoamericana Barcelona (España)

Sandra Sumalla Cano
Universidad Europea del Atlántico, Facultad de
Ciencias de la Salud, Departamento de Salud y
Alimentación, Santander (Cantabria) España

Josefina Cortés Eslava
Centro de Ciencias de la Atmósfera Universidad
Nacional Autónoma de México

José Mariano Rigoberto Montiel González
Centro de Investigación en Genética y Ambiente.
Universidad Autónoma de Tlaxcala.

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS,
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS**

Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ / Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Coordinación General de Investigación y Posgrado. Vol. 12. (2014). Ciudad Juárez, Chih.: UACJ, 2014. v.; 21 cm. Seriado.

Apoyado con Recursos PIFI

Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ Vol. XIII, núm. 2, 2015, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, a través del Instituto de Ciencias Biomédicas y de la Coordinación General de Investigación y Posgrado del ICB y el Departamento de Ciencias Básicas. Editor responsable: Jorge Alberto Pérez León. Reserva al uso exclusivo otorgada por INDAUTOR Núm. 04-2013-03221 300-5400-102 y el ISSN 2007-042X. Copyright © UACJ. Esta obra se terminó de imprimir en febrero de 2016 en Lazer Quality Prints, Av. Pedro Rosales de León, número 6599, Col. Villahermosa, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Tiraje: 100 ejemplares.

Los manuscritos propuestos para publicación en esta revista deberán ser inéditos y no haber sido sometidos a consideración a otras revistas simultáneamente. Al enviar los manuscritos y ser aceptados para su publicación, los autores aceptan que todos los derechos se transfieren a *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, quien se reserva los de reproducción y distribución, ya sean fotográficos, en micropelícula, electrónicos o cualquier otro medio, y no podrán ser utilizados sin permiso por escrito de *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*; véase, además, notas para autores.

Permisos para otros usos: el propietario de los derechos no permite utilizar copias para distribución en general, promociones, la creación de nuevos trabajos o reventa.

CONTENIDO

Arsénico en agua de pozos del sistema de abastecimiento de Ciudad Juárez, Chihuahua <i>Rosa Manuela Salas Escageda</i> <i>Jorge Arturo Salas Plata Mendoza</i> <i>Luz Helena Sanín</i> <i>Óscar S. Dena Ornelas</i>	9
Odontología forense: la importancia de una base de datos de registros dentales en la comunidad de la UACJ como herramienta en identificación <i>post-mortem</i> <i>Juan Antonio Constandse Ceceña</i>	19
Gasto energético en reposo medido (método de la calorimetría indirecta) versus gasto energético en reposo estimado (ecuaciones estimativas o predictivas) <i>José Franco-Monsreal</i> <i>Lidia Esther del Socorro Serralta-Peraza</i> <i>José Ricardo Hernández-Gómez</i> <i>Erika Beatriz Lara-Zaragoza</i> <i>Nemesio Villa-Ruano</i> <i>Lizbeth Mota-Magaña</i>	31
La exposición a bajas dosis de plomo en ratones CD-1 altera las actividades de las colinesterasas en órganos reproductores <i>López-Hernández Jessica</i> <i>López-Durán Rosa</i> <i>Vázquez-Trujillo Karinna</i> <i>Salame-Méndez Arturo</i> <i>García-Suárez Dolores</i> <i>Serrano Héctor</i> <i>Valencia-Quintana Rafael</i> <i>Sánchez-Alarcón Juana</i> <i>Salinas-Arreortua Noé</i> <i>Gómez-Olivares José Luis</i>	69
Calidad del aire y su relación con la percepción ambiental de adolescentes en Villahermosa, Tabasco <i>Gabriela Sastre-de Dios</i> <i>Sergio Ramos-Herrera</i> <i>Elizabeth Magaña-Villegas</i> <i>Jesús Manuel Carrera-Veluet</i>	83

ABSTRACTS

Arsenic in well water supply system of Ciudad Juarez, Chihuahua

Rosa Manuela Salas Escageda, Jorge Arturo Salas Plata Mendoza

Luz Helena Sanín, Oscar S. Dena Ornelas 9

The population exposed in Latin America to drinking water arsenic (As), is estimated at four million. Its chronic ingestion produces, among other effects, skin lesions, abnormal liver and bladder and lung cancer. The objective was to determine the As concentrations in wells water supply system, through reviewing results of analyzes from 2008 to 2012, by the Ciudad Juarez Water Utilities. Based on Mexican standards, the results were classified into acceptable quality, alert quality and outside the norm quality, yielding the total analysis, percentages quality results outside the norm of 1.67 to 9.12%, with concentrations between 0.0254 and 0.2093 mg/l. In conclusion, As in some wells exceeds the maximum allowable limit of 0.025 mg/l. Because of this, public policies must be implemented to avoid negative impacts on public health.

Keywords: Arsenic; chronic ingestion; wells; Mexican standards.

Forensic Odontology: the importance of a database of dental records in the community as a tool in identifying UACJ post-mortem

Juan Antonio Constandse Ceceña..... 19

The purpose of this article is to create a database of dental community UACJ records, a database of medical records and dental records, dental chart, panoramic radiography, procedures to facilitate identification processes in cost because they are 300% will reduce the cost and in less time.

Keywords: Dental records, dental chart, panoramic dental radiography, Rugoscopía, Queiloscopía, genetic profile.

Measured resting energy expenditure (indirect calorimetry method) versus estimated resting energy expenditure (estimating equations or predictive)

José Franco-Monsreal, Lidia Esther del Socorro Serralta-Peraza, José Ricardo Hernández-Gómez,

Erika Beatriz Lara-Zaragoza, Nemesio Villa-Ruano, Lizbeth Mota-Magaña 31

Were objectives of this study to determine the predictive equations are recommended for estimating resting energy expenditure in both the total population and in each of two groups established by gender because of their consistency (moderate, good and very good) with resting energy expenditure measured by indirect calorimetry method. In the period from 22/VIII/2011 to 21/II/2012 period 100 patients of which 50 were

masculine and 50 female gender were studied. With respect to the total population, a subpopulation of men and women subpopulation proceeded to the comparison of the mean measured by indirect calorimetry method with arithmetic mean estimates of each of the thirteen predictive equations. In the total population were found in 6 (46.15%) and 7 (53.85%) comparisons values intraclass correlation coefficients ranging from 0.61 to 0.80 and from 0.81 to 0.99 corresponding, respectively, to degrees of agreement “good” and “very good.” As for the subpopulation of men were found in 13 (100.00%) comparisons values intraclass correlation coefficients ranging between 0.61 and 0.80 which corresponds to a “good” level of agreement. Finally, regarding the subpopulation of women were found in 9 (69.23%) and in 2 (15.38%) comparisons values intraclass correlation coefficients ranging between 0.41 and 0.60 and between 0.61 and 0.80 corresponding, respectively, to degrees of agreement “moderate” and “good.” It is concluded that in the total population, the subpopulation of men and the subpopulation of women all the equations are recommended for estimating resting energy expenditure due to its consistent moderate, good and very good with energy expenditure measured resting by the method of indirect calorimetry.

Keywords: Concordance, indirect calorimetry, predictive equations

Low dose lead exposure alters the cholinesterases activities on reproductive organs in mice

López-Hernández Jessica, López-Durán Rosa, Vázquez-Trujillo Karinna, Salame-Méndez Arturo, García-Suárez Dolores, Serrano Héctor, Valencia-Quintana Rafael, Sánchez-Alarcón Juana, Salinas-Arreortua Noe, Gómez-Olivares José Luis 69

Lead is a widely distributed element in nature; occupational or non-occupational exposure may cause alterations in the structure and function of various tissues. The aim of this study was to determine the influence of lead exposure on the activity of cholinesterases in reproductive organs of mice at different stages of development. Mice were exposed to 3 ppm lead acetate in drinking water. At the end of the exposure period, the animals were sacrificed, the reproductive organs were dissected, and total proteins were solubilized. The total protein content was quantified by the Bradford method, and the acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase activities were estimated by the method of Ellman. Lead exposure induced severe alterations on the growth pattern of young CD1 mice, and in adults led to a first-degree malnutrition. Lead exposure induces significant changes in the reproductive organ size. The activities of cholinesterases (ChEs) in the gonads of lead exposed animals have different effects, depending on the stage of development; both ChEs were decreased in young animals, whereas in adults an increase in the activity of both cholinesterases was determined.

Keywords: Cholinesterases, reproductive organs, testis, ovaries, lead exposure, lead contamination.

**Air quality and its relationship with environmental perception of teenagers
in Villahermosa, Tabasco**

Gabriela Sastre-de Dios

Sergio Ramos-Herrera

Elizabeth Magaña-Villegas

Jesús Manuel Carrera-Velúeta..... 83

The aim of the study was to evaluate the air quality and describe the perception on air pollution of high school students in Villahermosa, Tabasco. During the first half of 2013, ozone and particulate matter concentrations were used for the air quality assessment. A survey was designed and implemented in order to evaluate the perception; and the independence between variables and the degree of association between answers were analyzed. The most significant findings showed that air quality was generally poor and most teenagers considered that the air quality is the second major cause of air pollution in the urban area. However, they recognized that their health could be affected by it. Finally, this perception is significantly greater in women.

Keywords: Environmental perception, air quality, air pollution



RECIBIDO: 09 ABRIL DE 2015
ACEPTADO: 02 JUNIO DE 2015

INVESTIGACIÓN

Arsénico en agua de pozos del sistema de abastecimiento de Ciudad Juárez, Chihuahua

Rosa Manuela Salas Escageda¹
Jorge Arturo Salas Plata Mendoza²
Luz Helena Sanín
Oscar S. Dena Ornelas³

RESUMEN

La población expuesta en América Latina al agua de bebida con arsénico (As), se estima en cuatro millones. Su ingesta crónica produce, entre otros efectos, lesiones en piel, alteraciones del hígado y cáncer de vejiga y pulmón. El objetivo fue determinar las concentraciones de As en agua de pozos del sistema de abastecimiento, revisando resultados de análisis practicados de 2008 al 2012, por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento. Con base en la normatividad mexicana, los resultados se clasificaron en calidad aceptable, calidad alerta y calidad fuera de norma, obteniéndose del total de análisis porcentajes de resultados de calidad fuera de norma de 1.67 a 9.12%, con concentraciones entre 0.0254 y 0.2093 mg/l. En conclusión, el As sobrepasa en algunos pozos el límite máximo permisible de 0.025 mg/l, por lo que se deben implementar políticas públicas orientadas a evitar impactos negativos en la salud pública.

Palabras clave: *arsénico, ingesta crónica, pozos de agua, normatividad mexicana.*

- 1 Mexicana. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Maestría en Ingeniería Ambiental y Maestría en Salud Pública. Área de especialización: Salud Pública y Medio Ambiente. Correo: rmsalase@yahoo.com.mx.
- 2 Mexicana. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Doctor en Ingeniería y Ciencias del Medio Ambiente. Área de especialización: Administración y planeación de los recursos del agua. Correo: jsalas@uacj.mx.
- 3 Mexicana. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Doctor en Geología. Área de especialización: Geociencias. Correo: osdena@gmail.com
Dirección para correspondencia: Yautepec No. 1843, Fraccionamiento Cuernavaca. Tel. 656 669 66 72, Ciudad Juárez, Chih. rmsalase@yahoo.com.mx.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso renovable que interviene en el ciclo hidrológico, por lo que es de esperarse que su cantidad global no varíe, no así localmente su cantidad y calidad. Las aguas subterráneas, en general, poseen una composición química originada por un complejo proceso de interacciones, donde las aguas procedentes de las precipitaciones de lluvia o nieve recogen los gases que se producen en la zona del suelo por descomposición y respiración de la materia orgánica y posteriormente reaccionan con los minerales que se encuentran en el medio rocoso. Con el tiempo, la composición química de las aguas subterráneas adquiere un equilibrio físico-químico con el contenido de gases y de fases sólidas disueltas. Estos equilibrios dependen de la temperatura y de la presión del sistema y cualquier cambio en esas condiciones produce una variación en la composición química, que da lugar a una mayor disolución de los minerales o a la precipitación de estos por recombinación iónica (Fagundo, R., 2013).

ANTECEDENTES

Las aguas subterráneas forman grandes depósitos, constituyendo en muchos lugares la única fuente disponible de agua potable. En ocasiones, cuando circulan bajo tierra, forman sistemas de cuevas y galerías, brotando de la tierra en forma de fuentes o manantiales y en otros, mediante la perforación de pozos (Astromia, 2014). En el estado de Chihuahua el agua subterránea representa el 60% de los aprovechamientos de agua potable para el sostenimiento de las distintas actividades (Sáenz CG, *et al.*, 2011). Debido a sus características geográficas y climatológicas, en Chihuahua el agua subterránea es el principal recurso para el abastecimiento tanto público como industrial y para riego agrícola (Espino, M.S., *et al.*, 2009). El abastecimiento esencial de agua para Ciudad Juárez proviene de dos acuíferos confinados identificados como el Bolsón del Hueco y el Bolsón de Mesilla, a través de pozos

profundos (semisurgentes). Este segundo bolsón es de explotación reciente que data de mayo de 2010.

Las actividades de búsqueda, localización, estudios geohidrológicos, perforación, extracción y distribución de agua a la población del municipio, está a cargo de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS), organismo operador dependiente del orden estatal, que contabilizó, para el año 2012, un total de 441,454 cuentas de usuarios. La cobertura de abastecimiento es del 98% a una población total de 1'332,131 habitantes, con un consumo promedio por habitante por día de 259 litros. El suministro proviene de 217 pozos, cuyo gasto promedio para cada uno se estima en 37 litros por segundo (Herrera, 2014, INEGI, 2010). Para efectuar un correcto abastecimiento de agua potable, además del sistema de obras que conforman la red de suministro que incluye obras de captación, se debe contar con las fuentes correspondientes, tomando en cuenta tanto la capacidad de suministro como la calidad del agua. No solo la contaminación antropogénica afecta la calidad del agua, también la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos y las sequías prolongadas han causado que los niveles de los mantos freáticos se vean disminuidos a niveles tales que la mineralogía del yacimiento en que está en contacto el agua cambia en sus características y se detectan niveles altos de elementos que originalmente no tenían valores apreciables. Los acuíferos sobreexplotados poseen un nivel freático abatido, existiendo en las capas más profundas, en general, un alta salinidad, arsénico y flúor. Los contenidos de sulfatos, arsénico, cloruros y flúor en las aguas, superan en muchos casos los valores máximos permisibles para que estas sean consideradas potables (Salas Plata, J., 2006).

Para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, se establecen límites máximos permisibles en cuanto a características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas que aseguren y preserven la calidad del agua en los sistemas de abastecimiento hasta la entrega al consumidor. La calidad del agua

potable es de suma importancia para la salud, por lo que la mayoría de los países tienen legislaciones internas que están relacionadas con las aguas de consumo humano. Estas normas sirven para determinar la responsabilidad de los distintos sectores involucrados en la producción y distribución del agua potable, su monitoreo y su control. Los países cuentan, asimismo, con reglamentaciones que definen qué se entiende por agua potable, es decir, los patrones que se deben seguir para que el agua sea inocua para la salud humana, donde se establece qué sustancias pueden estar presentes en el agua y las concentraciones máximas permisibles que no significan riesgo para la salud.

El arsénico en las aguas superficiales y en las aguas subterráneas proviene de la disolución de minerales, la erosión y la desintegración de rocas y por deposición atmosférica. En México, la presencia de arsénico se debe a que se encuentra dentro del cinturón volcánico, con suelos ricos en este elemento que contamina los mantos freáticos. Otra posible fuente de contaminación es el uso de plaguicidas órganoarsenicales usados desde antes de 1945 (Castro, M.L., 2006). Mientras que el flujo natural del agua subterránea en los acuíferos estuvo en equilibrio, el arsénico retenido en las arcillas quedó precipitado y estable y en el momento que se origina una sobreexplotación de agua del acuífero, se termina el equilibrio del flujo y el arsénico vuelve a disolverse o quedar liberado de la arcilla que lo mantenía retenido, implicando una contaminación significativa de los acuíferos de las cuencas del norte de México (Salas Plata, J., 2011). Tomando en cuenta que en América Latina la exposición a arsénico en el agua de bebida se estima en cuatro millones de personas, que la presencia de este elemento químico en acuíferos de las cuencas del norte es significativa, y que la principal fuente de abastecimiento para Ciudad Juárez es agua subterránea a través de pozos que integran la red de abastecimiento, surge el interés de este estudio para determinar si el As se encuentra presente en el

agua de dichos pozos y en ese caso, cuáles son sus concentraciones.

Todos los países que establecen sus normas nacionales utilizan como parámetro principal de comparación a las *Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la Calidad del Agua Potable*, las cuales se publican cada doce años, y donde se reúne la última información disponible en el mundo sobre el tema. En el Cuadro 1 se observan algunos países, incluyendo a México, con su límite máximo permisible para el arsénico y el valor que establece la OMS.

La norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 define agua para uso y consumo humano como “aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano”. Con respecto al arsénico, el límite máximo permisible decretado es de 0.025 mg/l (Modificación a la NOM-127-SSA1-1994).

Se ha dado gran importancia a la relación agua-salud, no obstante, el enfoque ha sido básicamente a los aspectos sanitarios, dejando de lado los constituyentes químicos. Es decir, se insiste en las coberturas de abastecimiento, subestimando los aspectos de calidad de las aguas. En acuíferos sobreexplotados, el arsénico y otros contaminantes como el plomo, fierro, manganeso, flúor y sales disueltas, se pueden encontrar en cantidades relativamente altas, por lo que se considera inconveniente su uso y consumo debido a la probabilidad de manifestarse deterioro en la salud de los usuarios y consumidores, cuando los niveles de contaminantes se encuentran por arriba de la norma (ITAA, 2014). Entre ellos, destaca el arsénico que está presente en elevadas concentraciones en extensas regiones del mundo (Galindo, G. *et al.*, 2005). La US Environmental Protection Agency (EPA, por sus siglas en inglés), clasifica al arsénico entre las 20 sustancias químicas más peligrosas para la salud humana, por el daño que puede producir su ingesta y su alta toxicidad (EPA, 2014). Al ingerir arsénico contenido en el agua, este es absorbido por vía sanguínea y

se acumula preferentemente en pulmones, hígado, riñones, piel, dientes, pelos y uñas. Los trastornos característicos que resultan de la exposición crónica son: engrosamiento de palmas y plantas (queratodermia), aumento de la pigmentación de la piel y aparición de cáncer cutáneo. Además, es bastante frecuente el cáncer de pulmón y de laringe (ATSDR, 2010). También puede dañar al sistema nervioso, con manifestaciones que comienzan con hormigueo y entumecimiento de plantas y palmas y se continúan con una neuritis diseminada y dolorosa de las extremidades superiores e inferiores. Los síntomas digestivos más comunes son náuseas y vómitos, dolores abdominales de tipo cólico, diarreas leves y lesiones degenerativas del hígado como cirrosis o carcinoma hepático, puede producir trastornos circulatorios y un alto riesgo de cáncer (Auge, M., 2009, OMS, 2012). El arsénico es un tóxico y un carcinógeno. Los efectos no carcinogénicos más comunes asociados a la ingesta de este metaloide son los que se presentan en la piel: hiperpigmentación, hipopigmentación e hiperqueratosis; daños al sistema cardiovascular, alteraciones renales y hepáticas, desarrollo de neuropatías periféricas y encefalopatías, y su capacidad de disruptor endocrino relacionado con el desarrollo de diabetes (OMS, 2012). Asimismo, los estudios epidemiológicos indican la asociación entre la ingesta de arsénico inorgánico y el desarrollo de carcinomas de piel (ATSDR, 2010). Por otro lado, se ha reconocido la relación entre la presencia de arsénico en el agua de varias regiones y el aumento en la presencia y mortalidad por cáncer de vejiga, riñón, pulmón y cáncer hepático en la población potencialmente expuesta (Vega G. S., 2013). Últimamente se está observando que solo unos pocos elementos químicos causan efectos sobre la salud a gran escala a través de la exposición a las aguas de consumo.

PROBLEMÁTICA

Se estima que cuatro millones de personas en América Latina están expuestas al agua de bebida con

arsénico, por lo que en algunos países, entre estos México, es un problema de salud pública (Castro de Esparza, ML, 2006). No contar con información sistematizada y analizada sobre la calidad del agua de los pozos que integran la red de abastecimiento para consumo humano, pospone la toma de decisiones para el análisis e implementación de medidas tendientes a evitar la exposición a diferentes contaminantes contenidos en el agua.

OBJETIVO

El objetivo en este trabajo fue estudiar la presencia y concentraciones de arsénico en pozos en Ciudad Juárez, Chihuahua, para la toma de decisiones de planificación y tratamiento de este recurso esencial, a fin de prevenir impactos negativos a la salud, asociados con la presencia de este elemento químico en el agua destinada a uso y consumo humano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio es Ciudad Juárez, al norte del estado de Chihuahua. Se ubica en latitud 31°44' N y longitud 106°29' O, a una altitud de 1,140 msnm. Su clima es muy seco templado, el rango de temperatura es de entre 14 y 18 °C y el rango de precipitación anual oscila entre los 200 y 300 mm. Se reporta un número de habitantes de 1'332,131 y se considera como una de las ciudades más pobladas e importantes del país, ubicada como la séptima más grande a nivel nacional (INEGI, 2010).

La investigación se realizó con base en los reportes generados por la JMAS, de acuerdo con los muestreos y análisis que se practican a los pozos que son operados por parte de ese organismo. Los años de estudio que se reportan son 2008, 2009, 2010, y 2012. El 2011 no se reporta por anomalías en el manejo de la base de datos.

La JMAS utiliza métodos específicos para el análisis de agua, dependiendo del parámetro analizado. El EPA-METHOD-200.7, es el método de análisis empleado para determinar la concentración de As en agua. El método de muestreo de agua utilizado es el ordenado en la "Norma Oficial Mexicana-

na NOM-230-SSA1-2002, Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo”. En esta norma se incluyen los criterios para manejo, preservación y transporte de muestras. Particularmente, para el análisis de arsénico, la muestra debe ser contenida en envase y tapa de plástico enjuagados con ácido nítrico 1:1, adicionados con un mililitro de ácido nítrico concentrado por cada 100 mililitros de muestra, colectando mínimo 1000 mililitros con un tiempo máximo de almacenamiento para 180 días.

Con respecto a la cadena de custodia de la muestra en la información proporcionada por la JMAS, se incluyó la identificación y control de la misma, donde para la identidad de las muestras se etiquetaron los frascos y envases con la siguiente información: número de control para identificar la muestra, independientemente del registro del laboratorio, fecha y hora de muestreo. Para el control de la muestra se llevó un registro en formato establecido, con los datos anotados en la etiqueta del envase: la identificación del punto o sitio de muestreo, temperatura del agua, potencial de hidrógeno, tipo de análisis a efectuar, reactivo empleado para la preservación, las observaciones relativas a la toma de muestra, de preferencia en situaciones de muestras especiales provenientes de alguna contingencia o evento ocasional y el nombre de la persona que realizó el muestreo.

Se elaboró una base de datos para los pozos con su número de identificación proporcionado por la JMAS y los resultados de análisis de las muestras tomadas a estos, registrándose la información de concentración de arsénico para los años de estudio. Los resultados de las concentraciones de arsénico, se compararon con los límites máximos permisibles establecidos en la Modificación a la Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1994 (SSA, 2001), generándose tres escalas: la primera identificada como de calidad aceptable, donde se ubican los pozos cuyas concentraciones se encuentran por deba-

jo del límite de detección de la técnica y el equipo utilizado para el análisis, que equivale a la cantidad mínima detectable por el método en particular; la segunda escala, identificada como de nivel de alerta, donde se encuentran los pozos cuya concentración de arsénico se encuentra por arriba del límite de detección de la técnica y el equipo utilizado para su análisis pero por debajo del límite máximo permisible (L.M.P.) establecido en la normatividad mexicana (0.025 mg/l); y en la tercera escala, identificada como de calidad fuera de norma, se ubicaron los pozos de agua cuya concentración está por arriba de dicho límite. En la base de datos de la JMAS se encuentra la hoja de reporte con la fecha de muestreo y el número de pozo muestreado, así como los resultados correspondientes a características fisicoquímicas, de compuestos orgánicos volátiles y de plaguicidas. En el mismo reporte se hallan los resultados de los parámetros de campo.

RESULTADOS

El número de reportes de análisis a pozos muestreados para los años 2008 y 2010 son 340, en el 2009 se reportan 316 y el año 2012 se obtienen 263 resultados. Para el año 2008, el 22.06 % de los resultados de la concentración de arsénico, se observan por debajo del límite de detección de la técnica y equipo (calidad aceptable) que equivale a 0.005 mg por litro, (excepto para el 2012 que este límite se fija en 0.0036 mg por litro, el 74.71% corresponde a resultados con valores por arriba del límite de detección de la técnica y equipo, pero por debajo del límite máximo permisible normado (calidad de alerta) y el 3.23% (calidad fuera de norma) son resultados de concentración por arriba del límite máximo permisible normado. Los resultados de los registros de los pozos muestreados con calidad de alerta (74.71%) revelan una concentración máxima de 0.0132 mg/l y mínima de 0.005, promediando estos dos valores 0.0090 mg/l, mientras que la media del total de resultados en la calidad de alerta, fue de 0.0108 mg/l. Para la calidad fuera de norma, dentro de las muestras se aprecia una concentración

máxima de 0.111 mg/l y una mínima de 0.0267 con un promedio de estos dos resultados de 0.0688mg/l y una media del total de resultados para esta escala de calidad, de 0.0504 mg/l (Cuadro 2).

Para el año 2009, los resultados indican que el 17.40% de los resultados de los análisis de las muestras cuentan con calidad aceptable, el 78.80% con calidad de alerta donde se alcanza una concentración máxima de 0.0244 mg/l y una mínima de 0.005 mg/l, promediando estos dos resultados 0.0147mg/l, con una media del total de resultados de los análisis para esta calidad de alerta de 0.0090 mg/l. El 3.80% de los resultados de análisis de los pozos muestreados le corresponden a la calidad fuera de norma, con una concentración máxima de 0.2093 mg/l y 0.0261 como mínima, correspondiéndoles a estos dos valores un promedio de 0.1177 mg/l y una media del total de análisis para esta calidad fuera de norma de 0.0666 mg/l (Cuadro 3).

Con respecto al año 2010, se obtiene un 30.88% de los resultados de los análisis para la escala de calidad aceptable, un 60.00% para calidad de alerta con valores máximo de 0.0246 mg/l y mínimo de 0.005, con un promedio de estos dos valores de 0.0148mg/l y una media del total de análisis de 0.0101 mg/l. En cuanto a la calidad fuera de norma se alcanza el 9.12% con una concentración máxima de 0.0815 mg/l y una mínima de 0.0254, un promedio para estas dos lecturas de 0.0534 y una media para el total de resultados de 0.0397 mg/l (Cuadro 4).

Los resultados para el año 2012, indican que el 86.96% de los resultados le corresponden a la calidad aceptable, mientras que el 11.37% afecta a la calidad de alerta con una concentración general reportada menor a 0.025 mg/l que corresponde al límite máximo permisible; y para la calidad fuera de norma se obtiene el 1.67% con un valor máximo de 0.0587 mg/l y una mínima de 0.0275, con un promedio de 0.0431mg/l para estas dos lecturas y una media del total de los resultados de análisis de esta calidad fuera de norma de 0.0451 mg/l (Cua-

dro 5). En este año, el límite de detección se fija en 0.0036 mg/l, comparado con los años anteriores de 0.0050 mg/l.

En el Cuadro 6 se observan los promedios de porcentajes de los cuatro años de estudio para cada escala de calidad, obteniéndose para la calidad aceptable un 39.32%, para la calidad alerta un 56.22% con una media de las concentraciones encontradas de 0.0112 mg/l y para la calidad fuera de norma un 4.46% con una media de concentraciones de 0.0545 mg/l. Asimismo, los resultados indican un total de porcentaje de muestras en calidad alerta y mayor al límite de detección del 60.68, es decir, en este porcentaje se asegura la presencia del arsénico.

Los resultados de los análisis para los pozos muestreados en los años incluidos en este estudio están referidos a las muestras tomadas y analizadas, y tal y como se indica, corresponden a las calidades de los pozos muestreados y no al acuífero en su totalidad.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Algunas referencias citadas en el presente estudio, informan de la presencia de arsénico en aguas subterráneas de varias regiones del país incluyendo el estado de Chihuahua, por lo que los resultados de esta investigación coinciden con la presencia del metaloide, dando lugar a la necesidad de la descripción del comportamiento del acuífero, en cuanto a las modificaciones de calidad con respecto a este contaminante. La Comisión Nacional del Agua (Conagua) y algunas universidades han detectado la presencia de concentraciones de arsénico mayores a los 0.025 mg/l, es decir, mayor al límite normado por la autoridad de salud mexicana (Arreguín, F.I., 2009).

En conclusión, de acuerdo con este estudio, el arsénico se encuentra presente y sobrepasando en algunos pozos el límite máximo permisible normado. El agua es distribuida por sectores directamente del pozo a la red de abastecimiento y en otros casos después de la mezcla de varios de estos, por

lo que se requiere conocer el riesgo de exposición mediante el procedimiento específico para su determinación, donde se incluya análisis del metaloide en muestras domiciliarias, dosis de exposición, edades de los consumidores, ubicación en mapa de los pozos muestreados de acuerdo con su calidad, etcétera. Asimismo, es necesaria la intervención de las autoridades de salud, Junta Municipal de Agua y Saneamiento y comunidad, para lograr implementar políticas públicas que incluyan tratamiento *ad hoc* de las aguas, se eviten posibles impactos negativos en la salud pública y se prevenga sobre la inseguridad que representa la sobreexplotación del acuífero, en cuanto a calidad.

AGRADECIMIENTO

A la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez, por la disponibilidad para compartir los resultados de análisis practicados al agua de pozos, en su Laboratorio de Calidad de Agua.

REFERENCIAS

ARREGUÍN F.I., (2009). UNA REVISIÓN DE LA PRESENCIA DE ARSÉNICO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DE MÉXICO. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (Conagua), SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (Semarnat). BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, KEYWORTH, NOTTINGHAM, UK. REVISTA DIGITAL TLALOC DE LA AMH, EDICIÓN 45, OCTUBRE-DICIEMBRE 2009. ASTROMIA. EL AGUA. AGUAS SUBTERRÁNEAS. [HTTP://WWW.ASTROMIA.COM/TIERRALUNA/AGUASUBTERRANEAS.HTM](http://www.astromia.com/tierraluna/aguasubterraneas.htm). 02/10/2013

ATSDR (2010). AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES. ESTUDIOS DE CASO EN MEDICINA AMBIENTAL (CSEM). [HTTP://WWW.ATSDR.CDC.GOV/ES/CSEM/ARSENIC/EFFECTOS_FISIOLÓGICOS.HTML](http://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/efectos_fisiologicos.html) CONSULTA 2 AGOSTO 2014.

AUGE, M. (2009). ARSÉNICO EN AGUA SUBTERRÁNEA. LA PLATA, AR.

CASTRO DE ESPARZA, ML. (2006). PRESENCIA DE ARSÉNICO EN EL AGUA DE BEBIDA EN AMÉRICA LATINA Y SU EFECTO EN LA SALUD PÚBLICA. INTERNATIONAL

CONGRESS. NATURAL ARSENIC IN GROUNDWATERS OF LATIN AMÉRICA. MÉXICO, CITY. 20-24 JUNIO 2006.

E.P.A. (2014). AGENCIA DE PROTECCIÓN DEL AMBIENTE DE LOS ESTADOS UNIDOS. [HTTP:WWW2.SCIENCE-AND-TECHNOLOGY/WATER-SCIENCE](http://www2.science-and-technology/water-science). CONSULTA 2 AGOSTO 2014.

ESPINO-VALDÉS, M.S. *ET AL.* (2009). PRESENCIA DE ARSÉNICO EN LA SECCIÓN NORTE DEL ACUÍFERO MEOQUI-DELICIAS DEL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO. MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE. TECNOCIENCIA CHIHUAHUA. VOL.III, No. 1. ENERO-ABRIL 2009.

FAGUNDO, G.R., *ET AL.* (2007). GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS QUE DRENAN CARBONATOS DEL INTERVALO JURÁSICO-PALEÓGENO. GEOCIENCIAS. 2007. CONSULTA FEBRERO 2014. [HTTP://WWW.FAGUNDOJR.COM/DOCUMENTOS/ARTICULO%20GEOMIN%20FAGUNDO.PDF](http://www.fagundojr.com/documentos/articulo%20GEOMIN%20FAGUNDO.PDF). 02/02/2014

GALINDO, G., *ET AL.* (2005). ARSÉNICO EN AGUAS: ORIGEN, MOVILIDAD Y TRATAMIENTO. II SEMINARIO HISPANO-LATINOAMERICANO SOBRE TEMAS ACTUALES DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA. IV CONGRESO HIDROGEOLÓGICO ARGENTINO. RÍO CUARTO, 2528 OCTUBRE 2005. ARGENTINA.

HERRERA, JM. (2014). ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO DE CIUDAD JUÁREZ. CONFERENCIA. SEMINARIO DEL AGUA PRIMER SEMESTRE 2014 DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ. CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA. 28 DE FEBRERO DE 2014.

ITAA, 2014. INGENIERÍA DE TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS. [HTTP://WWW.OOCITIES.ORG/EDROCHAC/SANITARIA/PARAMETROS1.PDF](http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf). 02/03/2014

INEGI (2010). CLAVE GEOESTADÍSTICA 08037. PRONTUARIO DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA MUNICIPAL DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS, JUÁREZ, CHIHUAHUA.

OMS (2012). ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. WORLD HEALTH ORGANIZATION INTERNATIONAL. PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY. HEALTH IMPACTS OF CHEMICALS. ARSENIC. [HTTP://WWW.WHO](http://www.who).

- INT/IPCS/ASSESSMENT/PUBLIC_HEALTH/ARSENIC/
EN/#
- SSA (2001). MODIFICACIÓN A LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994. "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN". SECRETARÍA DE SALUD. DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN 22 DE NOVIEMBRE DE 2000.
- SÁENZ URIBE, CG, ET AL. (2011) ANÁLISIS DE AL, AS, CR Y F EN POZOS DE LOS ACUÍFEROS EL SAUZ-ENCINILLAS Y CHIHUAHUA-SACRAMENTO. 2011. [HTTP://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/236342708](http://www.researchgate.net/publication/236342708). 02/03/2014
- SALAS PLATA M., J.A. (2006) PROBLEMÁTICA DEL AGUA Y CRECIMIENTO URBANO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA. CULCYT, AÑO 3, No 14-25. MAYO-AGOSTO 2006.
- SALAS PLATA M., J.A. (2011) USO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE. COLECCIÓN NUEVOS ESTUDIOS SOBRE AGUA Y MEDIO AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ. 2011. U.A.C.J. VOL. V PP 81-98.
- VEGA G., S. (2013). RIESGO SANITARIO AMBIENTAL POR LA PRESENCIA DE ARSÉNICO Y FLUORUROS EN LOS ACUÍFEROS DE MÉXICO. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. GERENCIA DE SANEAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA. MÉXICO, D.F. DISPONIBLE EN WWW.BVSDE.PAHO.ORG/BVSAIDIS/MEXICO13/104.

Cuadro 1. Estándares de calidad de agua potable para arsénico en la Organización Mundial de la Salud (OMS), y diferentes países

Unidad	OMS	México	Canadá	EUA	Panamá, Perú, Venezuela, Costa Rica, Guatemala	Brasil
mg/l	0.01	0.025	0.005	0.01	0.01	0.05

Fuente: Guías de la OMS para la Calidad del Agua Potable, 2008

Cuadro 2. Porcentaje de resultados, concentración máxima y mínima de arsénico en mg/l y su promedio, y media del total de resultados, para las escalas de calidad. Año 2008.

Calidad	Porcentaje	Concentración	Promedio de concentración máxima y mínima	Media del total de resultados
*Aceptable	22.06	Menor a 0.0050		
**Alerta	74.71	Máxima 0.0132 Mínima 0.0050	0.0090	0.0108
***Fuera de norma (>0.025mg/l)	3.23	Máxima 0.1110 Mínima 0.0267	0.0688	0.0504
Total	100.00			

“Fuente”: Cálculos propios con datos de la JMAS.

*Aceptable. Menor al límite de detección de la técnica y equipo de análisis.

**Alerta. Mayor al límite de detección de la técnica y equipo de análisis y menor al límite máximo permisible normado en México.

***Fuera de norma. Mayor al límite máximo permisible normado en México (LMP=0.025mg/l).

Cuadro 3. Porcentaje de resultados, concentración máxima y mínima de arsénico en mg/l y su promedio, y media del total de resultados, para las escalas de calidad. Año 2009.

Calidad	Porcentaje	Concentración mg/l	Promedio de concentración máxima y mínima	Media del total de resultados
*Aceptable	17.40	Menor a 0.0050		
**Alerta	78.80	Máxima 0.0244 Mínima 0.0050	0.0147	0.0090
***Fuera de norma (>0.025mg/l)	3.80	Máxima 0.2093 Mínima 0.0261	0.1177	0.0666
Total	100.00			

“Fuente”: Cálculos propios con datos de la JMAS.

*Aceptable. Menor al límite de detección de la técnica y equipo de análisis.

**Alerta. Mayor al límite de detección de la técnica y equipo de análisis y menor al límite máximo permisible normado en México.

***Fuera de norma. Mayor al límite máximo permisible normado en México (LMP=0.025mg/l).

Cuadro 4. Porcentaje de resultados, concentración máxima y mínima de arsénico en mg/l y su promedio, y media del total de resultados, para las escalas de calidad. Año 2010.

Calidad	Porcentaje	Concentración mg/l	Promedio de concentración máxima y mínima	Media del total de resultados
*Aceptable	30.88	Menor a 0.0050		
**Alerta	60.00	Máxima 0.0246 Mínima 0.0050	0.0148	0.0101
***Fuera de norma (>0.025mg/l)	9.12	Máxima 0.0815 Mínima 0.0254	0.0534	0.0397
Total	100.00			

“Fuente”: Cálculos propios con datos de la JMAS.

*Aceptable. Menor al límite de detección de la técnica y equipo de análisis.

**Alerta. Mayor al límite de detección de la técnica y equipo de análisis y menor al límite máximo permisible normado en México.

***Fuera de norma. Mayor al límite máximo permisible normado en México (LMP=0.025mg/l).

Cuadro 5. Porcentaje de resultados, concentración máxima y mínima de arsénico en mg/l y su promedio, y media del total de resultados, para las escalas de calidad. Año 2012.

Calidad	Porcentaje	Concentración mg/l	Promedio de concentración máxima y mínima	Media del total de resultados
*Aceptable	86.96	No detectado		
**Alerta	11.37	Menor a 0.025		
***Fuera de norma (>0.025mg/l)	1.67	Máxima 0.0587 Mínima 0.0275	0.0431	0.0451
Total	100.00			

“Fuente”: Cálculos propios con datos de la JMAS.

*Aceptable. Menor al límite de detección de la técnica y equipo de análisis.

**Alerta. Mayor al límite de detección de la técnica y equipo de análisis y menor al límite máximo permisible normado en México.

***Fuera de norma. Mayor al límite máximo permisible normado en México (LMP=0.025mg/l).

Cuadro 6. Promedio de porcentajes de los cuatro años de estudio para cada escala de calidad y media de las concentraciones en mg/l

Calidad	Porcentaje	Media de las concentraciones
*Aceptable	39.32	
**Alerta	56.22	0.0112
***Fuera de norma	4.46	0.0545
Total	100.00	

“Fuente”: Cálculos propios con datos de la JMAS.

*Aceptable. Menor al límite de detección de la técnica y equipo de análisis.

**Alerta. Mayor al límite de detección de la técnica y equipo de análisis y menor al límite máximo permisible normado en México.

***Fuera de norma. Mayor al límite máximo permisible normado en México (LMP=0.025mg/l).

RECIBIDO: 21 MAYO DE 2015
ACEPTADO: 2 NOVIEMBRE DE 2015

Odontología forense: la importancia de una base de datos de registros dentales en la comunidad de la UACJ como herramienta en identificación *postmortem*

Juan Antonio Constandse Ceceña¹

RESUMEN

El propósito en este artículo es conformar una base de datos de registros dentales a la comunidad de la UACJ, como historia clínica, odontograma, radiografía panorámica, procedimiento que facilitará los procesos de identificación en costo (300% menos) y tiempo.

Palabras clave: *registros Dentales, odontograma, radiografía dental panorámica, rugoscopía, queilosco-pía, perfil genético.*

1. Maestría de Ciencias Forenses, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Maestro de Antropología Forense adscrito al Departamento de Ciencias de la Salud del Instituto de Ciencias Biomédicas. Mexicano. Autor para correspondencia: juan.constandse@uacj.mx

INTRODUCCIÓN

Identificación

Los métodos de la identificación odontológica se fundamentan, principalmente, en la particularidad de la conformación de la boca y las arcadas dentarias que presenta cada individuo, con caracteres y formas propias; individuales y diferentes para cada ser humano.

Para ello es de gran utilidad, si se dispone de datos *ante mortem*, el odontograma *post mortem*, ya que nos permite el cotejo de los datos ante y *post mortem*. (Stimson, P.G.& Mertz,C.A., 1999)

Existen 1157 cuerpos sin identidad sepultados en fosa común desde 2004, de acuerdo con datos de la Fiscalía General del Estado; Arturo Acosta Sandoval, vocero, indica que a cada cuerpo de la fosa común se le practicaron los exámenes técnicos y científicos que permitan en un futuro su identificación. Entre estos análisis está (Sosa, 2015):

- Perfil genético
- Ficha decadactilar
- Fotografía del cuerpo
- Fotografía de las prendas
- Odontograma
- Informe médico de necropsia. (Sosa, 2015)
- Perfil genético
- (costo: 6000 pesos a 23 000 pesos).

El análisis del ADN para la identificación de individuos se basa en los siguientes criterios considerados en el Instituto de Ciencias Forenses de la Procuraduría General de Justicia (PGR, 2012):

- 1.- El ADN de cada persona es único y convenientemente analizado sirve para diferenciar a un individuo de entre todos los demás.
- 2.- La mitad del ADN autosómico de una persona es heredado del padre biológico y la otra mitad de la madre biológica, por lo que se pueden realizar estudios de filiación.

- 3.- Todas las células con núcleo del cuerpo de un individuo tienen el mismo ADN, por lo que se obtendrá el mismo resultado si se analiza sangre, saliva, tejido, semen, pelo, etcétera.
- 4.- Es posible identificar a un individuo a partir de muestras biológicas muy pequeñas o degradadas.
- 5.- Se puede obtener ADN de muestras biológicas aunque haya pasado mucho tiempo, como por ejemplo en restos óseos antiguos.

Es una técnica, la cual posibilita a los especialistas en ADN comparar dos muestras biológicas y determinar la concordancia de que estas muestras provengan de un mismo individuo.

El uso de la perfilación del ADN como una herramienta en las investigaciones criminales o en el ámbito de lo familiar está bien establecido. Los avances de la técnica a través de la automatización y computarización y las mejoras en la sensibilidad y aplicación del método permiten la investigación y examen de los escenarios de diversos delitos con la perfilación de diversas muestras biológicas humanas (sangre, semen, saliva, piel, cabello con bulbo y otros tejidos) encontradas en estos. La perfilación del ADN puede ahora ser usada para establecer la paternidad inequívoca o la identidad verdadera de un individuo, vincular a un sospechoso en la escena de un crimen o de una víctima, vincular delitos perpetrados por el mismo delincuente en la escena del crimen o de una o varias víctimas y excluir o exonerar a individuos inocentes de sospecha (PGR, 2012).

Ficha decadactilar

La ficha decadactilar es la obtención y registro de las huellas digitales de los cadáveres desconocidos en una ficha decadactilar (con la impresión de las huellas de los diez dedos).

Esta actividad está sujeta a las condiciones que presente el cadáver como son su conservación (reciente), putrefacción, destrucción ambiental (por el clima o por depredadores) y destrucción criminal,

es decir, la ausencia de los pulpejos, dedos o incluso de las manos completas, acción realizada precisamente para evitar la identificación del sujeto. Figura 1.



Figura.1- Eliminación del Pulpejo del pulgar derecho (Semeño, 2010).

Odontograma

(Costo del software varía desde \$660 pesos mensuales en la nube hasta 19 800 pesos).

El odontograma es un esquema de las arcadas dentarias, una ficha personal cuyo diagrama dental con-signa las características anatómicas de los dientes, así como de las particularidades y modificaciones, con fines de identificación. Constituye el registro más utilizado en identificación odontológica. Federación Dental Internacional (FDI) nos proporciona estado de los dientes, tipo de dentición, posición dental, morfología coronaria, patología coronaria, morfología radicular, patología radicular, morfología de la cámara pulpar y canal radicular, patología de la cámara pulpar y conducto radicular, restauraciones dentales, estado del periodonto, presencia de exostosis, patrón trabecular óseo, morfología y patología de maxilar y mandíbula, morfología y patología de la articulación temporomandibular y otros procesos patológicos. Figura 2 (Bowers, 2001).



Figura 2. Ejemplo de un Software para el registro de odontograma. En este caso se muestra un ejemplo de la ficha dental de un paciente imaginario. (Dentalink, 2015).

BREVE HISTORIA DE LA ODONTOLOGÍA FORENSE

Un claro ejemplo de la odontología forense es el cráneo hallado en la pirámide de Gizeth, perteneciente a un sujeto que vivió hace unos 2500 años antes de Cristo, cuya dentadura presentaba un alambre de oro que sostenía dos molares (Vargas, 2002).

El primer caso de una identificación por elementos dentales se remonta a la Roma Imperial, en la época de Claudio I, Tiberio Druso. Claudio tenía una amante de nombre Loilla Paulina, rival poderosa para Agripina, quien la mandó ejecutar fuera de la ciudad imperial e indicó que le fuera llevada su cabeza cercenada, lo cual fue hecho. Debido al tiempo transcurrido entre la ejecución y la presentación de la cabeza, esta ya presentaba signos de putrefacción, suceso ante el cual Agripina separó los labios del cadáver y observó que la tonalidad de los dientes coincidía con las características dentales que presentaba en vida Loilla Paulina, con lo cual quedó satisfecha. Se trata, quizás, de la primera identificación dental positiva (Lozano y Andrade, 2006).

Ya en 1894, el doctor Plastching presenta en Roma un método para la identificación y le da el nombre de Odontometría, con fichas legales que permiten tener un registro completo y de fácil interpretación. (Lozano y Andrade, 2006).

METODOLOGÍA DE LA ODONTOLOGÍA FORENSE

La Odontología Forense es la rama de la odontología que se encarga del estudio de las piezas dentales con fines identificativos de personas vivas y cadáveres. Auxilia con sus especiales conocimientos odontológicos a diversas ramas del Derecho.

La Odontología Forense es la aplicación de los conocimientos odontológicos con fines de identificación y de utilidad en el derecho Laboral, Civil y Penal.

La participación del Odontólogo Forense en auxilio de la justicia es amplia, pues no solamente

se limita al estudio de los cadáveres y al establecimiento de la identidad de sujetos problema, sino que también tiene acción en aquellos casos donde se ve involucrado el aparato bucodentomaxilar, probable objeto de lesiones o bien de tratamientos inadecuados que alteran desde su función fisiológica hasta la estética, pudiendo llegar a pérdidas importantes de tejido o incluso a la muerte del sujeto (Lozano y Andrade, 2006).

Esta “mano de obra”, aspecto de una investigación médico-legal, se centra en las seis preguntas principales en cualquier investigación forense (Wagner, 1997)

¿Quién es la víctima?

¿Cuáles son las lesiones?

¿Cómo se mantienen las lesiones?

¿Dónde se producen las lesiones?

¿Cuándo se produjeron las lesiones?

Si las lesiones fueron causadas por otra persona, ¿por quién?

En el levantamiento, el odontólogo o el odontostomatólogo forense es capaz de determinar si lesiones que presenta el cadáver son *ante mortem*, *post mortem*, siendo en el caso de estas últimas de vital importancia para la investigación posterior la búsqueda exhaustiva en el lugar de los hechos de las piezas que el cadáver ha perdido *post mortem* para poder clasificarlas e individualizarlas para posteriormente realizar un Odontograma *post mortem* ya en el laboratorio. De acuerdo con Stimson, P.G. & Mertz, C.A. (1999) es de gran utilidad contar con datos *pre mortem* para un mejor cotejo con la información *post mortem*.

CAMPOS DE ACCIÓN

DE LA ODONTOLOGIA FORENSE:

Los lugares en donde se requieren los servicios del Odontólogo Forense son:

—Servicios Médicos Forenses

En estos centros, sus funciones consisten principalmente, en la Identificación de cadáveres que ingresan como desconocidos, y en el nombramiento es el de Perito Odontólogo Forense o Legal. (Correa Ramírez, 1900).

—Estudios que permiten una identificación futura

Perfil genético

Ficha decadactilar

Fotografía del cuerpo

Fotografía de las prendas

Odontograma

Informe médico de Necropsia (Sosa, 2015)

—Servicios Periciales de las Procuradurías Generales de Justicia:

- La identificación de cadáveres
- La individualización de sujetos vivos (fichaje estomatológico, por lo general de delinquentes)
- Peritaje de responsabilidad Profesional estomatológica
- Aquí el nombramiento es Perito en Materia de Odontología. (Correa Ramírez, 1900)
- Servicios médicos de algunas compañías aéreas, tanto gubernamentales como privadas:
- Sus funciones aquí son elaborar fichas de identificación del personal expuesto a perder su individualización en accidentes aeronáuticos.

—La Odontología Forense también se aplica en:

Todas las compañías en las que se requiere la elaboración de fichas de identificación del personal que se encuentra expuesto a situaciones mortales (buzos, paracaidistas, automovilistas, mineros, pescadores, bomberos, etcétera.

En la capacitación de alumnos de la carrera de Cirujano Dentista y posgrado en la Especialidad de Estomatólogo Forense.

En la investigación científica, al estudiar tejidos, órganos y cadáveres en los servicios medico legales (Correa Ramírez, 1900).

TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN EN ODONTOLOGÍA FORENSE

Odontograma

Rugoscopía

Queiloscopía

Radiografía Dentales

Tratamientos Dentales

Odontograma

El odontograma es un esquema de las arcadas dentarias, una ficha personal cuyo diagrama dental consigna las características anatómicas de los dientes, así como de las particularidades y modificaciones, con fines de identificación. Constituye el registro más utilizado en identificación odontológica (Federación Dental Internacional), nos proporciona estado de los dientes, tipo de dentición, posición dental, morfología coronaria, patología coronaria, morfología radicular, patología radicular, morfología de la cámara pulpar y canal radicular, patología de la cámara pulpar y conducto radicular, restauraciones dentales, estado del periodonto, presencia de exostosis, patrón trabecular óseo, morfología y patología de maxilar y mandíbula, morfología y patología de la articulación temporomandibular y otros procesos patológicos Figura 3 (Bowers, 2001).

Existen programas diseñados para documentar el odontograma, como el que se muestra en la Figura 3: Dentalink software dental 3.0.



Figura 3. Ejemplo de un Software para el registro de odontograma. En este caso se muestra un ejemplo de la ficha dental de un paciente imaginario (Dentalink, 2015).

Rugoscopia

Rugopalatinoscopia o simplemente rugoscopia, procede de las voces griegas “rughos” rugosidad y “Skopein” observaciones o examen. Al estampado el dibujo papilar y a su representación gráfica con fines didácticos o de estudio se denomina rugopalatinograma.

Las rugas palatinas son estructuras anatómicas en relieve que se presentan en la porción anterior del paladar, justo por detrás de los dientes antero-superiores y de la papila incisiva, bilaterales a la línea media (Figura 4) (Othani, 2008).

La rugopalatinoscopia fue sugerida por primera vez como método identificatorio por Allen en 1889 (Othani, 2008).

También es importante destacar que tales rugas pueden obtenerse con impresión de la mucosa, y con aparatos protésicos (y por ende afines a los ortopédicos).

La rugoscopia es un sistema muy útil para la identificación, pero desafortunadamente de uso muy limitado, debido a que cuando se requiere al profesional que aporte un modelo de estudio de cuerpos por identificar, por lo general no conservan antecedentes dentales de sus pacientes. Con excep-

ción de algunos profesionales, como el Doctor Enrique Pérez Ramos, de León Guanajuato, un gran ejemplo por seguir, pues él efectúa en sus pacientes un estudio rugoscópico y lo anexa a la historia clínica, ideal para fines de identificación (Lozano y Andrade, 2006).

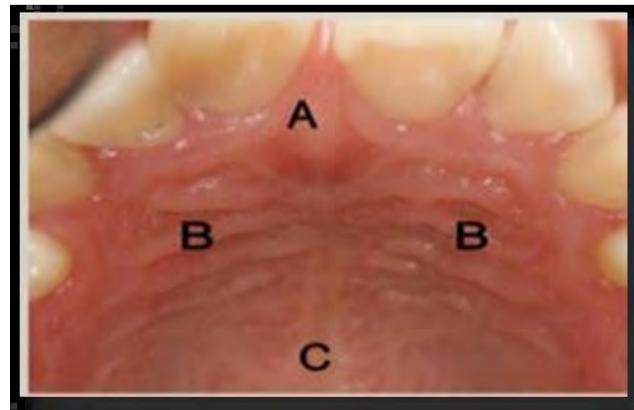


Figura 4. Se detallan las rugosidades o rugas palatinas justo por detrás de los dientes anterosuperiores (Grimaldo-Carjevski, 2010).

La utilidad del rugopalatinograma en la Odontología Forense consiste en la identificación mediante la clasificación de las rugas palatinas por su número, forma, tamaño y ubicación.

El hecho que estas persistan toda la vida desde su aparición en el tercer mes de gestación, que sean únicas en cada persona incluso entre gemelos y que por su ubicación se encuentren relativamente protegidas por los labios, dientes, por la bolsa adiposa de Bichat en carrillos y por los huesos maxilares, lo que hace que sean menos afectadas por la descomposición e incineración, hace que estas sean valiosas y aceptadas en la identificación, equiparándolas con las huellas dactilares (Aparicio-Castellanos, 2007).

Queiloscopia

Es el estudio, registro y clasificación de los rasgos labiales en donde se considera su forma, grosor, huellas labiales y comisuras (Figura 5).

Las huellas labiales son las impresiones que dejan los labios al entrar en contacto con superficies más o menos lisas y estas pueden ser visibles cuando los labios están manchados (generalmente con cosméticos) o ser latentes cuando están revestidos por saliva. La importancia de las huellas labiales trasciende la mera impresión física, también son fuente de material genético (Negre, 2004).

Nuevas Aportaciones al procesado de huellas labiales: Utsuno, Kanoh, Tadokoro, & Inoue (2005) determinaron que se pueden obtener huellas claras si se toman antes de las 24hs luego de la muerte, pero que son necesarios más estudios en condiciones ambientales

En la actualidad ya existe un software llamado Queilosoft (Figura 5):

TÉCNICAS RADIOLÓGICAS

Indiscutiblemente la radiología es un gran aporte científico a la identificación forense, entre las diversas técnicas se aplican las siguientes:

Radiografías dentales

Las radiografías dentales son capturas de imágenes que se hacen de los dientes y la boca a través de una radiación, comúnmente de rayos X.

Este tipo de rayos son una forma de radiación electromagnética, invisible y de una potencia suficiente como para atravesar cuerpos opacos y dejar una impresión sobre una película fotográfica.

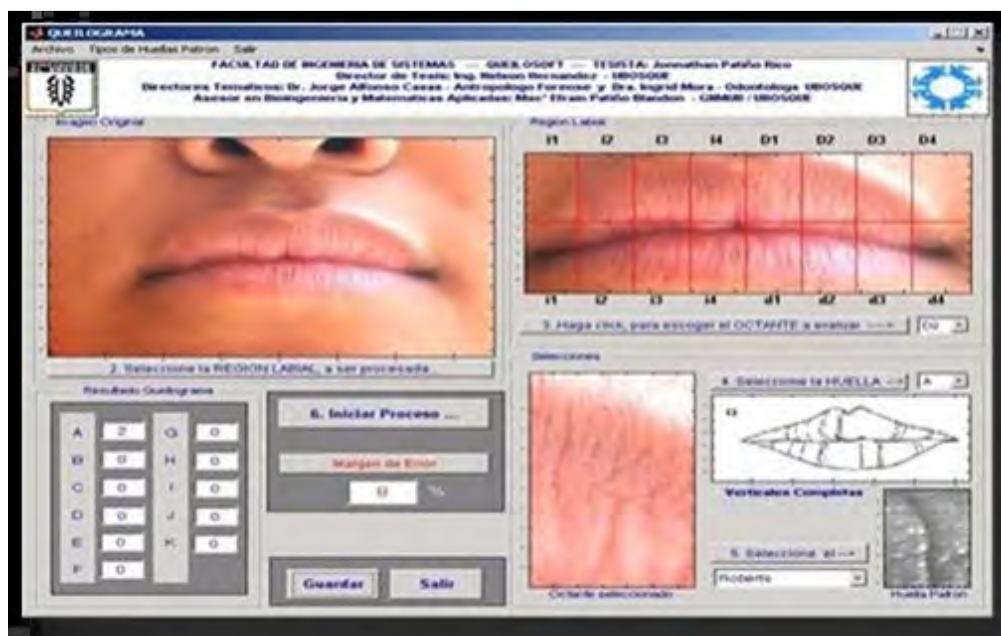


Figura 5. Ejemplo de un Queilosgrama. Nótese el seccionado y análisis de las comisuras labiales. Digitalizando una huella labial donde se logró a través de Matlab dividir por octantes una fotografía labial para una visualización más precisa y una lectura detallada. Hecho por la facultad de Ingeniería llamado Queilosoft, por el Antropólogo Forense Doctor Jorge Alfonso Casas y la Doctora Ingrid Mora, Bioforensic.

Radiografía Peri apical

A través de este tipo de radiografía es que se puede apreciar la totalidad de uno o dos dientes; llamada también retro alveolares o retro dentarias, permiten explorar la totalidad del diente, el espacio periodontal, el tejido óseo, la corona y la raíz (Figura 6). Para realizarlo se pueden emplear dos técnicas, la de bisección y la de paralelismo.



Figura 6. Molares Inferiores, Esmalte, Cemento, dentina, Crestas Alveolares, Cámara Pulpar, Tercer Molar Impactado o Retenido (Tangient LLC, 2015).

Orthopantomografía

Se utiliza para planear un tratamiento para implantes dentales, verificar si hay muelas del juicio impactadas (Figura 7) y detectar problemas mandibulares (Doctor Tango Inc., 2015).



Figura 7. Terceros molares retenidos o impactados. (Doctor Tango Inc., 2015).

TRATAMIENTOS DENTALES

Consiste en modificaciones realizadas en la dentadura, por estética o funcionalidad, van desde la exodoncia hasta tratamientos de alto nivel profesional como la ortodoncia, coronas de metal oro (Figura 8) (Esencias, 2012). Implantes, endodoncias, obturaciones de resina (Figura 9) (Birbe, 2012).



Figura 8. Tratamiento dental coronas de oro a una paciente de 44 años. (Esencias, 2012)

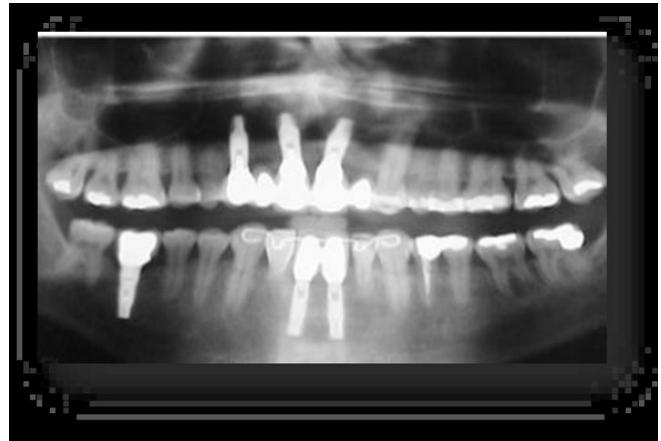


Figura 9. Implantes dentales, endodoncias, obturaciones de resina. (Birbe, 2012)

NECESIDAD DEL REGISTRO ODONTOLÓGICO EN MÉXICO: EL CASO DE CIUDAD JUÁREZ

En 1924, la Federación de Odontología Latinoamericana, reunida en Montevideo, Uruguay, recomienda a todos los países miembros anexar a los

documentos propios de identificación la ficha dental, así como el registro y archivo personal de los profesionales agremiados que tuvieran fichas disponibles para uso legal (Lozano y Andrade, 2006).

El Consejo Ciudadano para la Seguridad Pública y la Justicia Penal reveló, en febrero 7 del 2013, un registro de las ciudades más violentas del mundo, dato que obtienen mediante un promedio del número de asesinatos y la cantidad de habitantes de cada metrópoli. Entre las primeras 50 urbes del ranking, para el que se tomaron en cuenta 189 países del mundo, se encuentran nueve ciudades mexicanas. La primera de ellas —y la segunda más peligrosa a nivel mundial— es Acapulco, con un promedio de 142.88 asesinatos por cada 100 mil habitantes. Las otras ciudades, conforme su aparición en el registro, son Torreón, Nuevo Laredo, Culiacán, Cuernavaca, Ciudad Juárez, Chihuahua, Victoria y Monterrey. Brasil es el país que figura con más ciudades peligrosas entre los 50 primeros lugares, con 15. Es el único que está por encima de México (Aristegui, 2013).

El problema de la desaparición de personas ha alcanzado a las universidades de México, en las que se han presentado casos de desaparición de miembros de la comunidad universitaria, por ejemplo dos alumnos de la UACJ están desaparecidos; en la Universidad de Morelos (UAEM) se encuentran cinco universitarios desaparecidos (Ureña, 2013).

A manera de ejemplo, se citan algunos casos de universitarios de la UACJ que se encuentran desaparecidos:

Mónica Alanís, mujer de 18 años, con fecha de nacimiento el 23/12/1990, 1.70 m de estatura, complexión delgada, tez morena clara, cejas pobladas, nariz chica, recta, ojos de color negro, chicos y rasgados, boca regular, labios delgados, cabello lacio color café oscuro hasta los hombros, con fecha de desaparición 26 de marzo del 2009 (República, s.f.).

Lidia Ramos, 17 años, con fecha de nacimiento el 8/03/1991, 1.60 m de estatura, complexión

delgada, ojos de color café medianos y redondos, cabello café castaño hasta los hombros, boca mediana de labios delgados, que fue vista por última vez cuando salió de su casa con rumbo a la parada del transporte público que la llevaría al Instituto de Ciencias Biomédicas (ICB) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, con fecha de desaparición el 1 de diciembre del 2006 (República, s.f.).

Marlén Paola Ramos Ortega, de 23 años, estudiante universitaria que fue secuestrada y asesinada en Ciudad Juárez; los plagiarios exigieron a la familia el pago de un rescate a pesar de que ya la habían victimado, informaron las autoridades, Marlén era alumna de la carrera de Entrenamiento Deportivo en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) y destacada deportista que participó en el equipo de fútbol femenino en esta institución (Sosa, 2014).

Pedro Ortiz Hurtado, estudiante de Derecho del Instituto de Ciencias Sociales y Administración (ICSA). En este caso la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) lamentó el asesinato de uno de sus alumnos y solicitó a la Fiscalía General del Estado que se investigara el caso para que su muerte no quede impune, además de pedir que se investiguen los asesinatos que han arrebatado la vida de otros 15 integrantes de la UACJ, tanto maestros como alumnos (Félix, 2012).

PROPUESTA PARA LA UACJ

Se propone crear una base de datos de registros dentales en la comunidad estudiantil de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, tanto al personal administrativo como también al personal docente, actividad que facilitaría al Odontólogo Forense una identificación adecuada de correlación entre la persona desaparecida y los registros dentales, odontograma e historias clínicas.

También serviría para facilitar la manera de llevar un control de enfermedades bucales y pa-

tológicas dentro de la comunidad en general de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

CONCLUSIONES

Los registros dentales son un componente esencial como fuente de información para los dentistas y los pacientes, en la función financiera médico-legal, administrativa y dentro de la práctica general para el control de calidad y auditoría. Se dice que los dentistas y los pacientes se olvidan, pero buenos registros se recuerdan. Cada odontólogo tiene la obligación legal del mantenimiento de algún tipo de registro de cada paciente al que proporcionan atención dental (Charangowda, 2010).

Los registros dentales tienen un papel importante en la enseñanza, en la investigación, y la UACJ tiene la capacidad de llevar a cabo estos registros en todos sus estudiantes a manera de protección y prevención en salud.

La comparación del *ante mortem* y el *post mortem* de los registros dentales para determinar la identidad humana han sido establecidos y solo es cuestión de aplicarlos. De hecho, sigue siendo un método de identificación importante en las investigaciones criminales, desastres masivos, cuerpos descompuestos groseramente o traumatizados, y en otras situaciones en las que no es posible ni deseable la identificación visual, las identificaciones dentales son rápidas, precisas y de bajo costo: Historia Clínica \$20.00 MN, Odontograma \$660.00 MN. por Software dental que lo puedes utilizar ilimitadamente, y radiografía panorámica \$412.50.00 MN. En un Centro de radiología y en la escuela de Estomatología tendría un costo de \$50.00 MN, en total nos da un costo de \$730.00 MN.

A pesar de la demostrada utilidad de los perfiles dentales *post mortem* ya revisada, es claro que en Ciudad Juárez, con todas sus capacidades e infraestructura técnica y humana, la odontología forense ha sido descuidada (Sweet & Pretty, 2001).

BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO DC, H. H. (2007). IDENTIFICACIÓN POSITIVA POR MEDIO DEL USO DELA RUGOSCOPIA EN UN MUNICIPIO DE CUNDINAMARCA (COLOMBIA). ACTA ODONTOLÓGICA VENEZOLANA, 45(3): 446-449.
- ARISTEGUI, C. (2013). LAS 50 CIUDADES MÁS PELIGROSAS DEL MUNDO; 9 SON MEXICANAS. 2015, DE ARISTEGUI NOTICIAS SITIO WEB: [HTTP://ARISTEGUINOTICIAS.COM/0702/MEXICO/LAS-50-CIUDADES-MAS-PELIGROSAS-DEL-MUNDO-9-SON-MEXICANA](http://aristeguinoticias.com/0702/MEXICO/LAS-50-CIUDADES-MAS-PELIGROSAS-DEL-MUNDO-9-SON-MEXICANA)
- BOWERS, M. C. (2001). FORENSIC DENTAL EVIDENCE: AN INVESTIGATOR'S HANDBOOK. UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA. ELSEVIER LTD. SAN DIEGO, CA. ISBN 978-0-12-382000-6.2001.
- CHARANGOWDA, B.K 2010). "DENTAL RECORDS: AN OVERVIEW." J FORENSIC SCI. DENT., 2 (1), 5-10.
- CORREA RAMÍREZ, A.I. ESTOMATOLOGÍA FORENSE. TRILLAS (ED), MÉXICO DF. ISB 968-24-3254-5, pp87. 1990
- DENTALINK. (2015). EL SOFTWARE DENTAL MÁS USADO EN AMÉRICA LATINA. 2015, DE DENTALINK SITIO WEB: [HTTP://SOFTWAREDENTALINK.COM/FICHA-CLINICA-DENTAL/](http://SOFTWAREDENTALINK.COM/FICHA-CLINICA-DENTAL/)
- DR. TANGO, INC. (2015). RADIOGRAFÍAS DENTALES. 2015, DE ADM SITIO WEB: [HTTPS://WWW.NLM.NIH.GOV/MEDLINEPLUS/SPANISH/ENCY/ARTICLE/003801.HTM](https://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/003801.htm)
- FELIX, G.. (2012). EXIGE UACJ QUE MUERTE DE ESTUDIANTE NO QUEDE IMPUNE. 2015, DE EL DIARIO DE JUÁREZ SITIO WEB: [HTTP://DIARIO.MX/LOCAL/2012-03-10_246ee130/EXIGE-UACJ-QUEMUERTEDE-ESTUDIANTE-NO-QUEDE-IMPUNE/](http://diario.mx/LOCAL/2012-03-10_246ee130/EXIGE-UACJ-QUEMUERTEDE-ESTUDIANTE-NO-QUEDE-IMPUNE/)
- GRIMALDO-CARJEVSKI M. (2010). "RUGOSCOPIA, QUEILOSCOPIA, OCLUSOGRAFÍA, Y OCLUSORADIOGRAFÍA COMO MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN FORENSE: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA". ACTA ODONTOLÓGICA VENEZOLANA,. 48, 1-11.
- LOZANO Y ANDRADE, O. (2006). ESTOMATOLOGÍA FORENSE. TRILLAS (ED). MÉXICO DF. ISBN 9789682477621, p. 200.
- NEGRE, M.C. (2004). NUEVAS APORTACIONES AL PROCESADO DE HUELLAS LABIALES. LOS LISOCROMOS EN QUEILOSCOPIA. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA (ED). DE-

- PARTAMENT DE MEDICINA PREVENTIVA, SALUT PÚBLICA, BROMATOLOGIA, TOXICOLOGIA I MEDICINA LEGAL. VALENCIA, ESPAÑA. ISBN 8437060729.
- OHTANI, M., NISHIDA, N., CHIBA, T., FUKUDA, M., MIYAMOTO, Y., & YOSHIOKA, N. (2008). INDICATION AND LIMITATIONS OF USING PALATAL RUGAE FOR PERSONAL IDENTIFICATION IN EDENTULOUS CASES. *FORENSIC SCI.*, 176:178-182.
- PGR. PROCURADURIA GENERAL DE LA REPÚBLICA MEXICANA. (2012). GENÉTICA. 2015, DE INSTITUTO DE CIENCIAS FORENSES SITIO WEB: [HTTP://WWW.SEMEFO.GOB.MX/ES/INCIFO/GENETICA](http://www.semefo.gob.mx/es/INCIFO/GENETICA)
- REPÚBLICA, P. G. (N.D.). [HTTP://WWW.PGR.GOB.MX](http://www.pgr.gob.mx). RETRIEVED FROM [HTTP://WWW.PGR.GOB.MX/SPDA/SEARCH/OPERA_CONSULTA.ASP](http://www.pgr.gob.mx/spda/search/opera_consulta.asp)
- SEMEFO. (2010). DACTILOSCOPIA. 2015, DE INSTITUTO DE CIENCIAS FORENSES SITIO WEB: [HTTP://WWW.SEMEFO.GOB.MX/ES/INCIFO/DACTILOSCOPIA/_RID/17/_WST/MINIMIZED](http://www.semefo.gob.mx/es/INCIFO/DACTILOSCOPIA/_RID/17/_WST/MINIMIZED)
- SOSA, L. D. (2014, AGOSTO 7). [HTTP://DIARIO.MX/LOCAL/2014-08-07_e9986591/ERA-ESTUDIANTE-DELAUACJ-MUJER-ASESINADA-EN-VIVIENDA/](http://diario.mx/Local/2014-08-07_e9986591/era-estudiante-delauacj-mujer-asesinada-en-vivienda/).
- SOSA, L. D. (2015, 10 15). SEPULTAN A 50 DESCONOCIDOS. *EL DIARIO DE JUÁREZ. MX*, p. 3A.
- SWEET, D., & PRETTY, I. A. (2001). A LOOK AT FORENSIC DENTISTRY- PART I: THE ROLE OF TEETH IN THE DETERMINATION OF HUMAN IDENTITY. *BRITISH DENTAL JOURNAL*, 190:359-66.
- TANGIENT LLC. (2012). *RADIOLOGIA2012*. 2015, DE *RADIOLOGIA2012* SITIO WEB: [HTTP://RADIOLOGIA2012.WIKISPACES.COM/INTERPRETACION](http://radiologia2012.wikispaces.com/INTERPRETACION)
- UREÑA, I. (2013, NOVIEMBRE 25). [WWW.PODERYDINERO.COM](http://www.poderydinero.com). RETRIEVED FROM [HTTP://PODERYDINERO.COM.MX/INDEX.PHP/ARTICULOS/HISTORICO/96-POLITICA/189CINCOUNIVERSARIOS-DE-LA-UAEM-DESAPARECIDOS](http://poderydinero.com.mx/index.php/articulos/historico/96-politica/189-cincouniversitarios-de-la-uaem-desaparecidos)
- UTSUNO, H., KANO, T., TADOKORO, O., & INOUE, K. (2005). PRELIMINARY STUDY OF POST MORTEM IDENTIFICATION USING PRINTS. *FORENSIC SCI. INT.*, 149:129-132.
- VARGAS, E. A. (2002). *MEDICINA LEGAL* (3A. ED). MÉXICO: TRILLAS. ISBN 978-607-17-0990-5, pp553. 2002.
- WAGNER, G. N. (1997). *FORENSIC DENTISTRY*. CAPÍTULO 1 MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN. NEW YORK: CRC PRESS LLC. ISBN 0849381037, 327 pp.

RECIBIDO: 29 MAYO DE 2015
ACEPTADO: 2 NOVIEMBRE DE 2015

Gasto energético en reposo medido (método de la calorimetría indirecta) *versus* gasto energético en reposo estimado (ecuaciones estimativas o predictivas)

José Franco-Monsreal¹; Lidia Esther del Socorro Serralta-Peraza¹; José Ricardo Hernández-Gómez¹;
Erika Beatriz Lara-Zaragoza²; Nemesio Villa-Ruano²; Lizbeth Mota-Magaña²

RESUMEN

El objetivo en el presente estudio es determinar las ecuaciones predictivas o ecuaciones estimativas recomendables para la estimación del gasto energético en reposo tanto en la población total como en cada uno de dos grupos establecidos por género debido a su concordancia (moderada, buena y muy buena) con el gasto energético en reposo medido por el método de la calorimetría indirecta. En el periodo comprendido del 22/VIII/2011 al 21/II/2012 se estudiaron 100 pacientes, 50 masculinos y 50 femeninos. Con respecto a la población total, a la subpoblación de hombres y a la subpoblación de mujeres se procedió a la comparación de la media aritmética medida por el método de la calorimetría indirecta con las medias aritméticas estimadas de cada una de trece ecuaciones predictivas. En la población total se encontraron en 6 (46.15%) y en 7 (53.85%) comparaciones valores de coeficientes de correlación intraclase comprendidos entre 0.61 y 0.80 y entre 0.81 y 0.99 lo que corresponde, respectivamente, a grados de concordancia “bueno” y “muy bueno”. En cuanto a la subpoblación de hombres se encontraron en las 13 (100.00%) comparaciones valores de coeficientes de correlación intraclase comprendidos entre 0.61 y 0.80, lo que corresponde a un grado de concordancia “bueno”. Finalmente, en lo referente a la subpoblación de mujeres, se encontraron en 9 (69.23%) y en 2 (15.38%) comparaciones valores de coeficientes de correlación

1 Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo; Carretera Muna-Felipe Carrillo Puerto, km. 137 S/N; CP. 77890; La Presumida, José María Morelos, Quintana Roo, México. jose.franco@uimqroo.edu.mx; lidia.serralta@uimqroo.edu.mx; jose.hernandez@uimqroo.edu.mx.

2 Universidad de la Sierra Sur; Guillermo Rojas Mijangos S/N; Esquina Avenida Universidad; Colonia Ciudad Universitaria; CP. 70800; Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, México. musgo_slogan@hotmail.com; necho82@yahoo.com.mx; l_motam@hotmail.com.

intraclase comprendidos entre 0.41 y 0.60 y entre 0.61 y 0.80 lo que corresponde, respectivamente, a grados de concordancia “moderado” y “bueno”. Se concluye que en la población total, la subpoblación de hombres y la subpoblación de mujeres todas las ecuaciones predictivas son recomendables para la estimación del gasto energético en reposo debido a su concordancia moderada, buena y muy buena con el gasto energético en reposo medido por el método de la calorimetría indirecta.

Palabras clave: *concordancia, calorimetría indirecta, ecuaciones predictivas.*

INTRODUCCIÓN

El gasto metabólico basal, la termogénesis inducida por los alimentos, la termogénesis debida al ejercicio físico y las variaciones en la temperatura corporal en situaciones tanto fisiológicas como patológicas forman parte del gasto energético total del individuo (García de Lorenzo & Álvarez 2005, da Rocha *et al.*, 2006).

El gasto metabólico basal es la energía consumida en reposo en cama por la mañana —despierto—, en ayunas (10-12 horas) y en condiciones ambientales confortables (temperatura, luz y ruido, entre otras); es la extrapolación a 24 horas del índice metabólico basal que es en realidad la medición que se hace en las condiciones descritas. El gasto metabólico basal es el principal componente del gasto energético y se expresa en kilocalorías (Kcal) en 24 horas. Habitualmente se utiliza el gasto energético en reposo (GER) debido a la dificultad para medir el gasto metabólico basal en las condiciones usuales (García de Lorenzo & Álvarez 2005, García de Lorenzo Mateos 2007, Haugen *et al.*, 2007).

La determinación del gasto energético constituye un paso fundamental en el proceso del soporte nutricional de cualquier tipo de pacientes y, principalmente, de los pacientes más graves en los que es tan perjudicial como la desnutrición puede ser un exceso en el aporte de nutrientes. Es también importante el ajuste del aporte energético en

el individuo sano para evitar, principalmente, los problemas ligados al exceso de peso. El método más eficaz para determinar el gasto energético es la calorimetría indirecta respiratoria, la cual también proporciona el cálculo del cociente respiratorio que indica los nutrientes que preferentemente oxida el sujeto y permite introducir modificaciones en el soporte nutricional. Además de un utillaje específico, su medición exige un completo conocimiento de las estrictas normas en que ha de realizarse para que sus resultados sean fiables. Directamente relacionadas con los métodos calorimétricos están las ecuaciones estimativas o predictivas del gasto energético, y estas se encuentran muy extendidas en la valoración cotidiana tanto de pacientes como de grupos de población sana por su mayor facilidad de manejo no estando, sin embargo, exentas de controversias sobre su exactitud y aplicabilidad a cualquier tipo de pacientes (Marsé-Milla *et al.*, 2008).

El GER representa el gasto energético mínimo de un sujeto sano en completo reposo sin observar un ayuno estricto de varias horas; se trata, por tanto, del gasto energético basal al que hay que añadir la energía resultante del estado de vigilia y del efecto térmico retardado de los alimentos. En general suele ser de un 10 a un 20% mayor que el gasto metabólico basal. Se expresa en Kcal/día. Las variaciones interindividuales del GER se relacionan con distintos factores tales como edad, género, genéticos, de composición corporal y, en menor grado, de la actividad nerviosa simpática y del nivel de entrenamiento físico (García de Lorenzo & Álvarez 2005, García de Lorenzo Mateos 2007, Haugen *et al.*, 2007).

El efecto térmico de los alimentos o termogénesis inducida por la dieta representa el costo energético debido al consumo de los alimentos. Depende de factores como la cantidad de comida ingerida, la proporción de carbohidratos, de lípidos y de proteínas de la dieta, el momento en que se realiza la ingesta y los componentes como el café, el alcohol y el tabaco. El efecto térmico de los ali-

mentos supone un aumento aproximado del 10% en el gasto energético diario. Cuando el aporte del soporte nutricional administrado en perfusión continua por vía enteral o parenteral es similar a las necesidades del GER, solo es responsable de un 3% de incremento en el mismo (Raurich-Puigdevall *et al.*, 1996).

El gasto energético total añadiría al GER las modificaciones que inducen las actividades corporales voluntarias o involuntarias. El efecto térmico del ejercicio o termogénesis inducida por el ejercicio representa el gasto energético debido a la actividad física que realiza una persona, ya sea de forma espontánea o de forma voluntaria. Hay una gran variabilidad que supone un aumento del gasto energético que va desde un 10% en el caso de individuos encamados hasta un 50% en personas activas. Depende de factores como el sistema nervioso simpático, genéticos y de la calidad del entrenamiento físico cuando es voluntario (García de Lorenzo & Álvarez 2005, García de Lorenzo Mateos 2007, Haugen *et al.*, 2007).

Otros componentes del gasto energético lo constituyen el crecimiento o la síntesis de los tejidos que requieren un costo determinado en función del tipo de tejido en crecimiento. También las hormonas son responsables, en parte, de modificaciones en el gasto metabólico; estados fisiológicos como el embarazo y la lactancia suponen un aumento del gasto energético diario debido a la síntesis de nuevos tejidos y al aumento de los trabajos respiratorio y cardiaco.

Otra situación diferente son los cambios que inducen los diversos estados patológicos que condicionan modificaciones a veces muy importantes en el gasto energético. También es necesario tener en cuenta que determinados fármacos o tratamientos ejercen un efecto mensurable en el gasto metabólico (Dickerson & Roth-Yousey 2005 a, b).

En el aspecto práctico, debe considerarse el llamado gasto energético estimado obtenido a partir de ecuaciones estimativas o predictivas muy variadas que constituyen un intento de determinación

del gasto energético basal y del GER basándose en parámetros diversos que a veces pueden inducir a importantes errores de apreciación. Las determinaciones del GER por cualquiera de los métodos calorimétricos se agrupan en el concepto de GER medido en contraposición al GER estimado.

Al mismo tiempo que se desarrollaban las técnicas de calorimetría indirecta aparecieron las ecuaciones estimativas o predictivas. Suelen desarrollarse a partir de poblaciones y situaciones específicas. De estas ecuaciones, la más difundida y todavía utilizada para el cálculo del gasto energético en una población sana normal es la ecuación de Harris-Benedict, que se formuló en 1919 y a partir de la cual se desarrolla una larga serie de ecuaciones (se calculan en más de 200 las existentes) que intentan adaptar los cálculos a grupos concretos de pacientes, pero que deben aplicarse teniendo en cuenta sus innatas limitaciones (Harris & Benedict 1919).

La disyuntiva entre GER medido y GER estimado en el manejo nutricional del individuo sano y del individuo enfermo se mantiene actual pese a la evolución de los modernos calorímetros más sofisticados, transportables y con mejores programas informáticos que siguen teniendo en contra su costo y disponibilidad (Davis *et al.*, 2006).

La facilidad de uso y la diversidad actual de las ecuaciones estimativas o predictivas tienen en contra que al partir del concepto de que la respuesta metabólica de los pacientes es predecible y uniforme ante un proceso patológico dado llevan, en sí mismas, la posibilidad de error por la gran variabilidad personal ante el mismo proceso y la multitud de posibles complicaciones. Una alternativa intermedia puede plantearse utilizando la ecuación estimativa o predictiva que a criterio del clínico parezca la más adecuada en cada caso complementada con los datos que puede aportar el laboratorio y reservando el uso de la calorimetría medida para aquellos pacientes que no muestran mejoría en sus parámetros nutricionales con el tratamiento; a los que por su proceso se prevea que el GER estimado

no será fiable o que presenten problemas en su evolución y que pueden estar relacionados con la cantidad y la calidad del soporte nutricional que reciben. La calorimetría directa constituye la medición directa de la energía perdida en forma de calor por un individuo dentro de una cámara de aislamiento integrando el calor disipado por varios métodos tales como radiación, convección, conducción a través de la superficie corporal, evaporación de la piel y pulmones, y excreción por orina y heces. Es el método más preciso (cuantifica gasto energético total) y costoso limitado actualmente al campo de la investigación, ya que exige un aparataje complejo, un largo tiempo de estabilización y estudio y no puede valorar pacientes en ventilación mecánica ni permite identificar el tipo de nutriente oxidado preferentemente.

La calorimetría indirecta es un método de determinación de las necesidades energéticas de un individuo mediante el cálculo del GER como mayor componente del gasto energético total. Este método permite estimar el gasto metabólico de forma indirecta mediante el estudio del intercambio gaseoso midiendo el consumo de oxígeno (VO_2) y la producción de anhídrido carbónico, dióxido de carbono o bióxido de carbono (VCO_2). Se asume, por tanto, que la oxidación de los sustratos consume oxígeno (O_2) y produce anhídrido carbónico (CO_2) y agua (H_2O) y que las pérdidas urinarias de nitrógeno (N_2) reflejan la oxidación de las proteínas en un organismo. Es una técnica no invasiva, reproducible y fiable que, a la vez, exige una metodología estricta y con limitaciones en su uso rutinario. La calorimetría indirecta estaría indicada en situaciones clínicas en donde se altera considerablemente el metabolismo energético basal, especialmente el enfermo crítico. También estaría indicada para lograr un balance equilibrado en sujetos que no responden al aporte nutricional indicado. Y también en enfermos obesos o de edad avanzada porque constituyen grupos de población con necesidades energéticas basales distintas. Es también el soporte con el que se validan y elaboran las ecuaciones

estimativas o predictivas (Marsé-Milla *et al.*, 2008).

Las ecuaciones estimativas o predictivas estudiadas en el presente trabajo corresponden a dos grupos: el primero comprende aquellas basadas en masa libre de grasa y son las de Cunningham (1980), Elia (1992), Heshka *et al.* (1990), Heymsfield *et al.* (1988), Jensen *et al.* (1988), Kashiwazaki *et al.* (1988), Luke & Schoeller (1992), McNeill *et al.* (1987), Mifflin *et al.* (1990), Owen *et al.* (1987) y Ravussin *et al.* (1982); el segundo grupo se encuentra constituido por aquellas ecuaciones estimativas o predictivas basadas tanto en masa libre de grasa como en masa grasa y son las de Garby *et al.* (1988) y Hoffmans *et al.* (1979). En el Cuadro 1 se presentan las trece ecuaciones predictivas para predecir el GER (Kcal/día) de masa libre de grasa y de masa libre de grasa + masa grasa en adultos según autores.

Uno de los métodos más utilizados actualmente por su precisión, facilidad de aplicación y uso en la composición corporal es el del análisis de la impedancia bioeléctrica (BIA). El método del BIA ofrece una evaluación no invasiva de la composición corporal humana tanto para investigaciones clínicas como para la atención de pacientes. En la última década el uso del BIA para la predicción de la composición corporal ha crecido rápidamente; su utilidad ha llegado a generalizarse más que otras técnicas y su uso específico para cuantificar varios aspectos de la composición corporal está incrementándose. El BIA es un método relativamente rápido, simple, seguro y económico que mide la conductividad eléctrica tisular; es fácil de realizar e involucra el manejo de un equipo portátil. Asimismo, se ha reportado que posee una buena reproducibilidad y se ha aplicado tanto en la práctica clínica como en el campo de la investigación científica (Jacobs, 1997).

El método del BIA ha sido comparado con varias técnicas utilizadas para medir la composición corporal tales como marcadores específicos de dilución, peso hidrostático, conductividad eléctrica

corporal, análisis de activación de neutrones, escáner de tomografía computarizada, absorciometría dual de rayos X y antropometría, encontrando que existe una relación cercana entre las mediciones del BIA y las técnicas de referencia mencionadas para la composición corporal con coeficientes de correlación que varían de 0.74 a 0.98 (Houtkooper *et al.*, 1996).

Durante muchos años se investigó la aplicación de los fenómenos eléctricos a la biología y fue Nyboer el que hipotetizó que la impedancia a la conducción de una corriente eléctrica a través de los tejidos biológicos a un amperaje y frecuencia constantes depende de la composición de dicho tejido y estableció su utilidad para medir el agua corporal total. El BIA es un método para el estudio de la composición corporal basado en la conducción de la corriente eléctrica a través de los tejidos biológicos. Mide la impedancia u oposición al flujo de la corriente eléctrica a través de los tejidos corporales que es baja en el tejido magro donde se encuentran los líquidos intracelulares y los electrolitos y que es alta en el tejido graso, por lo que es proporcional al agua corporal total. Las ecuaciones estimativas o predictivas generadas previamente correlacionando las determinaciones de impedancia con una estimación independiente del agua corporal total por diferentes métodos de referencia son utilizadas posteriormente para cuantificar la cantidad de esta. La masa magra se calcula usando una supuesta fracción de hidratación para el tejido magro; la masa grasa se calcula como la diferencia entre el peso corporal y la masa magra. La impedancia de un tejido biológico comprende dos componentes: 1) la resistencia, y 2) la reactancia; aunque los términos de resistencia e impedancia se utilizan indistintamente en la literatura especializada, ya que el valor de la reactancia es muy bajo en el ser humano (Nyboer *et al.*, 1950; Hoffer *et al.*, 1970; Kushner, 1992).

Aunque muchos investigadores reconocieron los problemas de asumir estas suposiciones, creían, sin embargo, que el formato general era útil para

desarrollar una relación empírica entre impedancia, agua corporal total y masa magra. Además, la estimación de la masa magra a partir del agua corporal total depende de otra suposición más que considera que esta es una fracción constante de la masa magra de aproximadamente 73% (Chumlea *et al.*, 1988).

El BIA es, asimismo, un procedimiento rápido, portátil, no invasivo, de escasa dificultad técnica, bajo costo, poca variabilidad intraobservador e interobservador (Valtueña *et al.*, 1996, Kotler *et al.*, 1996, Bretón-Lesmes *et al.*, 2000); y seguro por utilizar una corriente alterna constante de 800 μ A y frecuencia de 50 KHz que son no suficientes para estimular a los tejidos eléctricamente excitables (Chumlea & Guo, 1994).

La medición es un proceso inherente tanto a la práctica como a la investigación clínica. Mientras que algunas variables son relativamente sencillas de medir (como el peso y la tensión arterial), otras comportan cierto grado de subjetividad que hace especialmente difícil su medición (como la intensidad del dolor y el concepto de calidad de vida). En cualquier caso el proceso de medición conlleva siempre algún grado de error. Existen factores asociados a los individuos, al observador y al instrumento de medición que pueden influir en la variación de las mediciones (Hernández-Aguado *et al.*, 1990, Argimon-Pallás & Jiménez-Villa, 2004).

Cualquier estudio epidemiológico debe garantizar la calidad de sus mediciones no sólo porque condicionará en gran medida la validez de sus conclusiones, sino por la importancia de las decisiones clínicas que se apoyen en esa investigación (Sackett, 1992).

La calidad de una medida depende tanto de su validez como de su fiabilidad. La validez expresa el grado en el que realmente se mide el fenómeno de interés en tanto que la fiabilidad indica hasta qué punto se obtienen los mismos valores al efectuar la medición en más de una ocasión bajo condiciones similares. El que una medida sea muy precisa no implica, sin embargo, que sea necesariamente vá-

lida (Latour *et al.*, 1997; Argimon-Pallás & Jiménez-Villa, 2004).

En los estudios que tratan de evaluar la validez de una medida se comparan sus resultados con los obtenidos mediante una prueba de referencia (gold standard) que se sabe válida y fiable para la medición del fenómeno de interés (Pita-Fernández & Pértega-Díaz, 2003).

Cuando el objetivo se centra en la fiabilidad de una medición, se repite entonces el proceso de medida para evaluar la concordancia entre las distintas mediciones. En un estudio de fiabilidad pueden valorarse cuatro aspectos: 1) Repetibilidad: indica hasta qué punto un instrumento proporciona resultados similares cuando se aplica a un mismo paciente en más de una ocasión y en idénticas condiciones; 2) Concordancia intraobservador: tiene por objetivo evaluar el grado de consistencia al efectuar la medición de un observador consigo mismo; 3) Concordancia interobservador: se refiere a la consistencia entre dos observadores distintos cuando evalúan una misma medida en un mismo paciente; y 4) Concordancia entre métodos de medición: cuando existen diferentes métodos de medición para un mismo fenómeno es interesante estudiar hasta qué punto los resultados obtenidos con ambos instrumentos son equivalentes (Argimon-Pallás & Jiménez-Villa, 2004).

La concordancia entre variables es de sumo interés en la práctica clínica habitual (Landis & Koch, 1977; Fleiss, 1986; Divisón *et al.*, 2001; Ripollés-Ortí *et al.*, 2001).

La concordancia entre mediciones puede alterarse no sólo por la variabilidad de los observadores, sino por la variabilidad del instrumento de medida o por la variabilidad del propio proceso a medir si se realiza en momentos diferentes. Las técnicas de análisis de la concordancia dependen del tipo de variable a estudiar. El índice estadístico más utilizado para el caso de variables cualitativas es el coeficiente Kappa (López de Ullibarri-Galpárraga & Pita-Fernández, 1999).

Si las variables son cuantitativas, se utiliza, habitualmente, el coeficiente de correlación intraclase (CCI) (Fleiss, 1986; Hernández-Aguado *et al.*, 1990; Prieto *et al.*, 1998).

El concepto básico subyacente del CCI fue introducido originalmente por Fisher como una formulación especial del coeficiente de correlación producto-momento de Pearson “*r*” basándose en un modelo de análisis de la varianza (Bravo & Potvin, 1991).

Las dificultades para la interpretación desde el punto de vista clínico de los valores del CCI, así como otras desventajas metodológicas, han hecho que algunos autores propongan métodos alternativos para estudiar la concordancia de este tipo de variables. Así, Bland & Altman (1986) propusieron un método gráfico muy sencillo basado en el análisis de las diferencias individuales que permite determinar los límites de concordancia y visualizar de forma gráfica las discrepancias observadas.

Recientemente, otros métodos de análisis de concordancia han sido propuestos (Krouwer & Monti, 1995; Monti, 1995; Luiz *et al.*, 2003).

Para el caso de variables cuantitativas es frecuente que el análisis de concordancia se aborde mediante métodos estadísticos inapropiados. Con frecuencia ha sido utilizado el cálculo del coeficiente de correlación producto-momento de Pearson (*r*) como índice de concordancia. No obstante, el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson no resulta una medida adecuada del grado de acuerdo entre dos mediciones, ya que si dos instrumentos miden sistemáticamente cantidades diferentes uno del otro la correlación puede ser perfecta ($r=1$, o bien, $r=-1$) a pesar de que la concordancia sea nula (Argimon-Pallás & Jiménez-Villa, 2004).

No debe olvidarse que el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson solamente mide la asociación lineal entre dos variables y no proporciona información sobre el acuerdo observado (Bland & Altman, 1996).

Asimismo, al calcularse a partir de los pares ordenados de mediciones, si varía el orden también varía el valor del coeficiente en tanto que un cambio en las escalas de medida no afecta la correlación, pero sí afecta la concordancia. A su vez, es importante señalar que es incorrecta la idea de que la fiabilidad es buena si el coeficiente de correlación producto-momento de Pearson entre dos medidas es significativamente diferente de cero. El coeficiente de correlación producto-momento de Pearson puede ser muy pequeño y resultar significativo si el tamaño muestral es suficientemente grande (Bland & Altman, 1996). Por último, tampoco la comparación de medias aritméticas mediante la prueba t de Student para comparaciones en parejas es un método adecuado para este tipo de análisis (Argimon-Pallás & Jiménez-Villa, 2004).

Desde el punto de vista matemático, el índice más apropiado para cuantificar la concordancia entre diferentes mediciones de una variable numérica es el llamado CCI (Fleiss, 1986; Hernández-Aguado *et al.*, 1990, Prieto *et al.*, 1998).

El CCI estima el promedio de las correlaciones entre todas las posibles ordenaciones de los pares de observaciones disponibles y, por tanto, evita el problema de la dependencia del orden del coeficiente de correlación producto-momento de Pearson. Asimismo, extiende su uso al caso en el que se disponga de más de dos observaciones por sujeto.

Como toda proporción, los valores del CCI oscilan entre 0 y 1, de modo que la máxima concordancia posible corresponde a un valor de 1. En este caso toda la variabilidad observada se explicaría por las diferencias entre los sujetos y no por las diferencias entre los métodos de medición o entre los diferentes observadores. Por otro lado, un valor de cero se obtiene cuando la concordancia observada es igual a la que se esperaría que ocurriera solo por azar. Hasta ahora se ha presentado la forma más habitual de cálculo del CCI. Para su cálculo en otras situaciones, así como para la obtención de intervalos de confianza, puede recurrirse a refe-

rencias más especializadas (Bartko, 1966; Fleiss, 1986; McGraw & Wong, 1996).

No obstante, a pesar de ser la medida de concordancia más adecuada para el caso de variables numéricas, el CCI presenta ciertas limitaciones. Junto a la dificultad inherente a su cálculo, el hecho de que se trate de una prueba paramétrica limita su uso al caso en el que se cumplan las suposiciones necesarias tales como: 1) Variables distribuidas según la distribución normal; 2) Igualdad de varianzas (homocedasticidad); e 3) Independencia entre los errores de cada observador. Asimismo, el valor del CCI depende en gran medida de la variabilidad de los valores observados, ya que cuanto más homogénea sea la muestra estudiada más bajo tenderá a ser el valor del CCI. Pero, quizá, lo que más ha limitado la difusión del uso del CCI en la literatura médica es la carencia de una interpretación clínica, lo que ha propiciado la aparición de un método complementario de análisis mucho más intuitivo y fácilmente interpretable, el cual se denomina método gráfico de Brand & Altman.

En la actualidad, el valor del CCI puede obtenerse de modo directo con algunos programas informáticos como el Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Otra forma sencilla de obtener el valor del CCI es a partir de la tabla del análisis de la varianza para medidas repetidas. A partir de dicha tabla el CCI puede calcularse como:

$$CCI = k (SCENTRE - SCTOTAL) / (k - 1) (SCTOTAL)$$

Donde k= Número de observaciones que se toman en cada sujeto; SCENTRE= Suma de cuadrados entre grupos; y SCTOTAL= Suma de cuadrados total.

Para la interpretación del significado del valor del CCI se utilizaron los siguientes criterios: 1) Entre 0.01 y 0.20= correlación insignificante; 2) Entre 0.21 y 0.40= correlación baja; 3) Entre 0.41 y 0.60= correlación moderada; 4) Entre 0.61 y 0.80= correlación buena; y 5) Entre 0.81 y 0.99= correlación muy buena. Correlaciones con valores 0.00 y

1.00 indican, respectivamente, correlaciones nulas y perfectas (Landis & Koch, 1977).

Un sencillo procedimiento gráfico para evaluar la concordancia entre dos sistemas de medida es el propuesto por Bland & Altman (1986), que consiste en representar gráficamente las diferencias entre dos mediciones frente a su media aritmética.

Un aspecto muy importante de la metodología de Bland & Altman es que además proporciona límites de concordancia a partir del cálculo del intervalo de confianza para la diferencia entre dos mediciones. Como es bien conocido, el intervalo de ± 1.96 desviaciones estándar alrededor de la media aritmética de las diferencias incluye el 95% de las diferencias observadas. Estos valores deben compararse con los límites de concordancia que se hayan establecido al inicio del estudio para concluir si las diferencias observadas son o no clínicamente relevantes.

El método de Bland & Altman es un método gráfico muy útil que complementa eficientemente al diagrama de dispersión común para el examen de los patrones de discrepancia entre medidas repetidas o entre una medida dada y la “prueba de oro”. No es más que un gráfico de dispersión donde la diferencia entre las medidas emparejadas (A-B, en el eje de las ordenadas) se asocia con su valor medio $(A+B)/2$, en el eje de las abscisas. A partir de este gráfico es más fácil, que en un diagrama de dispersión corriente, evaluar la magnitud de discrepancia (incluyendo diferencias sistemáticas), detectar valores extremos y observar si existe alguna tendencia (Szklo & Nieto, 2003).

El coeficiente de correlación producto-momento de Pearson, la prueba t de Student para comparaciones en parejas y el análisis de la varianza son métodos estadísticos utilizados en algunos estudios en donde se comparan los valores estimados de las medias aritméticas del GER obtenidos de ecuaciones estimativas o predictivas con el valor medido de la media aritmética del GER obtenido por el método de la calorimetría indirecta (Paz-Cerezo *et al.*,

2003; Martínez de Morentin *et al.*, 2009; Patil & Bharadwaj, 2011).

En la revisión de la literatura científica se encontró un primer trabajo de Lührmann *et al.* (2002) que utilizan la prueba de los rangos señalados de Wilcoxon y el coeficiente de correlación de rangos de Spearman para comparar los valores estimados de las medianas del GER obtenidos de ecuaciones estimativas o predictivas con el valor medido de la mediana del GER obtenido por el método de la calorimetría indirecta. Continuando con la revisión de la literatura científica se encontró un segundo trabajo (Siirala *et al.*, 2010) que utiliza la prueba de los rangos señalados de Wilcoxon para comparar los valores estimados de las medianas del GER obtenidos de ecuaciones estimativas o predictivas con el valor medido de la mediana del GER obtenido por el método de la calorimetría indirecta; posteriormente, estos autores compararon las medianas después de ajustarlas por el método de Bonferroni.

Fueron objetivos del presente estudio el determinar las ecuaciones estimativas o predictivas recomendables para la estimación del GER tanto en la población total como en cada uno de dos grupos establecidos por género debido a su concordancia (moderada, buena y muy buena) con el GER medido por el método de la calorimetría indirecta.

Hipótesis nula (H0), hipótesis de trabajo o hipótesis de investigación: el valor medido de la media aritmética del GER por el método de la calorimetría indirecta es concordante (CCI) con los valores estimados de las medias aritméticas del GER de once ecuaciones estimativas o predictivas (Cunningham, Elia, Heshka, Heymsfield, Jensen, Kashiwazaki, Luke, McNeill, Mifflin, Owen y Ravussin) basadas en masa libre de grasa y de dos ecuaciones estimativas o predictivas (Garby y Hoffmans) basadas en masa libre de grasa y en masa grasa.

Hipótesis alterna (H1): el valor medido de la media aritmética del GER por el método de la calorimetría indirecta es no concordante (CCI) con los valores estimados de las medias aritméticas del

GER de once ecuaciones estimativas o predictivas (Cunningham, Elia, Heshka, Heymsfield, Jensen, Kashiwazaki, Luke, McNeill, Mifflin, Owen y Ravussin) basadas en masa libre de grasa y de dos ecuaciones estimativas o predictivas (Garby y Hoffmans) basadas en masa libre de grasa y en masa grasa.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño de estudio

Estudio epidemiológico observacional descriptivo de corte transversal sin direccionalidad y con temporalidad prospectiva.

Universo de estudio

Una muestra aleatoria y, en consecuencia, representativa de la totalidad de pacientes de 18 y + años de edad de ambos géneros que acudió al Consultorio de Nutrición Clínica de los Laboratorios Micro-Clin de la ciudad y puerto de Santa María de Sisal, Yucatán, México, en el periodo comprendido del 22 de agosto de 2011 al 21 de febrero de 2012.

Definiciones operacionales de las variables

Concordancia. Cuando en los resultados obtenidos con ambos métodos (calorimetría indirecta y ecuaciones estimativas o predictivas) se obtengan valores de CCI comprendidos entre 0.41 y 0.60 “correlación moderada”; entre 0.61 y 0.80 “correlación buena”; y entre 0.81 y 0.99 “correlación muy buena”.

Género. Taxón que agrupa a especies que comparten los mismos caracteres. Fue registrado como “masculino” o como “femenino”.

Gasto energético en reposo. Gasto de energía medido en sujetos en posición supina y en reposo incluyéndose la termogénesis inducida por la dieta y los factores ambientales o de la temperatura corporal, el estrés físico o psíquico. Fue registrado en kilocalorías/día.

Ecuaciones estimativas o predictivas. Herramientas utilizadas en la clínica habitual ante la im-

posibilidad de la utilización de métodos más eficaces y rigurosos.

Calorimetría indirecta. Método de determinación de las necesidades energéticas de un individuo mediante el cálculo del GER como mayor componente del gasto energético total. Este método permite estimar el gasto metabólico de forma indirecta mediante el estudio del intercambio gaseoso midiendo el consumo de O_2 (VO_2) y la producción de CO_2 (VCO_2). Se asume, por tanto, que la oxidación de los sustratos consume oxígeno (O_2) y produce anhídrido carbónico (CO_2) y protóxido de hidrógeno o agua (H_2O) y que las pérdidas urinarias de nitrógeno (N_2) reflejan la oxidación de las proteínas en un organismo.

Masa grasa. Porcentaje de peso corporal constituido por el tejido adiposo. El tejido adiposo es una variedad de tejido conjuntivo constituido por células grasas en una red de tejido areolar. El tejido adiposo blanco es de color blanco o amarillento, de escaso contenido mitocondrial y pobre control neuroendocrino. El tejido adiposo pardo es de color marronáceo, de contenido celular muy rico en mitocondrias, con una gran inervación adrenérgica que es responsable en gran parte de las reacciones de termogénesis en los animales. En el hombre su proporción es más escasa y su significado funcional no se encuentra aún totalmente esclarecido. La masa grasa puede evaluarse mediante técnicas como la impedanciometría o la densitometría de absorción fotónica y desde el punto de vista teórico es el parámetro que mejor define la existencia de obesidad. La obesidad es la condición clínica que se define como un excesivo peso corporal a expensas del acúmulo de tejido adiposo blanco; desde el punto de vista antropométrico se considera existencia de obesidad cuando el índice de masa corporal (peso en kg/estatura en m^2) ≥ 30.0 kg/ m^2 . La masa grasa se encuentra formada solamente por los triglicéridos del tejido adiposo.

Masa libre de grasa. Elemento de la composición corporal libre de grasa cuya estimación es útil en los estudios nutricionales. Puede medirse mediante la valoración del contenido total de potasio, densitometría e impedanciometría. La masa libre de grasa es algo mayor que la masa libre de lípidos ya que contiene los lípidos esenciales (fosfolípidos, esfingomielina y glicolípidos).

Técnicas y procedimientos

En el periodo comprendido del 22 de agosto de 2011 al 21 de febrero de 2012 acudieron al Consultorio de Nutrición Clínica de los Laboratorios Micro-Clin de la ciudad y puerto de Santa María de Sisal, Yucatán, México, 135 pacientes de 18 y + años de edad de ambos géneros.

Se decidió estudiar una muestra aleatoria y, por tanto, representativa de dicha población. Se utilizó el esquema de muestreo aleatorio simple; el tamaño de la muestra se calculó utilizando el siguiente estadístico (Daniel 2014):

$$n = \frac{NZ^2PQ}{d^2(N-1) + Z^2PQ}$$

Donde n= tamaño de la muestra; N= tamaño de la población; Z= nivel de confianza; P= proporción de elementos en la población que posee la característica de interés; Q= proporción de elementos en la población que no posee la característica de interés; y d= nivel de error.

Se utilizó un nivel de confianza de 95%, es decir, un valor de Z= 1.96; un valor de P= 0.5000; un valor de Q= 0.5000; y un nivel de error= 0.0500.

$$n = \frac{135(1.96)^2(0.5000)(0.5000)}{(0.0500)^2(135-1) + (1.96)^2(0.5000)(0.5000)}$$
$$n = 100$$

A continuación se seleccionaron aleatoriamente 50 pacientes del género masculino y 50 pacientes del género femenino.

Para la medición del peso y de la estatura se procedió según la metodología descrita en el Manual de Procedimientos de la Secretaría de Salud (*Manual de procedimientos. Toma de medidas clínicas y antropométricas en el adulto y adulto mayor*, 2002).

A continuación se determinó el GER por medio del método de la calorimetría indirecta a través de la medición de VO₂ y la liberación de VCO₂ con el Analizador Metabólico, Korr, Reevue Indirect Calorimeter 8100.

Después se procedió a la medición de la composición corporal con el equipo de impedancia bioeléctrica modelo Bodystat 1500 MDD.

Finalmente se procedió a la estimación del GER utilizando las once ecuaciones predictivas (masa libre de grasa) y las dos ecuaciones predictivas (masa libre de grasa + masa grasa).

Se utilizó el software MedCalc Statistical Software para Windows, versión 12.1.3, para los cálculos de los coeficientes de correlación intraclase y para la elaboración de las gráficas de Bland & Altman.

Procesamiento de los datos

En la etapa de elaboración los datos fueron revisados (control de calidad de la información); clasificados (en escalas cualitativa y cuantitativa); computarizados [se utilizó el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) para Windows, versión 8.0]; presentados (en cuadros y en figuras); y resumidos (se utilizaron las medidas de resumen correspondientes para datos clasificados en escalas cualitativa y cuantitativa). En las etapas de análisis e interpretación los datos fueron analizados e interpretados, respectivamente.

RESULTADOS

En el periodo comprendido del 22 de agosto de 2011 al 21 de febrero de 2012 se estudiaron 100 pacientes de los cuales 50 correspondieron al género masculino [diez con normopeso ($20.0 \leq \text{IMC} \leq 24.9$) y 40 con sobrepeso ($25.0 \leq \text{IMC} \leq 29.9$)] y

50 al género femenino [trece con normopeso ($20.0 \leq \text{IMC} \leq 24.9$) y 37 con sobrepeso ($25.0 \leq \text{IMC} \leq 29.9$)].

Se analizó el grado de concordancia de los valores estimados de las medias aritméticas del GER obtenidos de once ecuaciones estimativas o predictivas (Cunningham, Elia, Heshka, Heymsfield, Jensen, Kashiwazaki, Luke, McNeill, Mifflin, Owen y Ravussin) basadas en masa libre de grasa y de dos ecuaciones estimativas o predictivas (Garby y Hoffmans) basadas en masa libre de grasa y en masa grasa teniendo como referencia el valor medido de la media aritmética del GER obtenido por el método de la calorimetría indirecta.

Lo anterior, con el fin de establecer cuáles de ellas son recomendables para la estimación del GER en la población total y en cada uno de los dos grupos establecidos por género basándose en su concordancia con el GER medido por el método de la calorimetría indirecta.

Para la interpretación del significado del valor del CCI se utilizaron los criterios de Landis & Koch (1977): 1) Entre 0.01 y 0.20= correlación insignificante; 2) Entre 0.21 y 0.40= correlación baja; 3) Entre 0.41 y 0.60= correlación moderada; 4) Entre 0.61 y 0.80= correlación buena; y 5) Entre 0.81 y 0.99= correlación muy buena. Correlaciones con valores 0.00 y 1.00 indican, respectivamente, correlaciones nulas y perfectas.

Con respecto a la población total, se procedió a la comparación de la media aritmética (1535) medida por el método de la calorimetría indirecta con las medias aritméticas estimadas de cada una de las trece ecuaciones estimativas o predictivas: Cunningham (1635); Elia (1557); Garby (1581); Heshka (1560); Heymsfield (1435); Hoffmans (1557); Jensen (1711); Kashiwazaki (1589); Luke (1634); McNeill (1457); Mifflin (1446); Owen (1460); y Ravussin (1563) encontrando en 6 (46.15%) y en 7 (53.85%) comparaciones valores de CCI comprendidos entre 0.61 y 0.80 y entre 0.81 y 0.99, lo que corresponde, respectivamente, a grados de concordancia “bueno” y “muy bueno”, lo cual se

corresponde con las gráficas de Bland & Altman (Cuadro 1 y Figuras de Bland & Altman comprendidas desde la 1 hasta la 13).

En cuanto a la subpoblación de hombres se procedió a la comparación de la media aritmética (1718) medida por el método de la calorimetría indirecta con las medias aritméticas estimadas de cada una de las trece ecuaciones estimativas o predictivas: Cunningham (1785); Elia (1704); Garby (1761); Heshka (1720); Heymsfield (1585); Hoffmans (1730); Jensen (1850); Kashiwazaki (1759); Luke (1773); McNeill (1606); Mifflin (1583); Owen (1615); y Ravussin (1708). Se encontraron en 13 (100.00%) de las 13 comparaciones valores del CCI comprendidos entre 0.61 y 0.80 lo que corresponde a un grado de concordancia “bueno” y lo cual se corresponde con las gráficas de Bland & Altman (Cuadro 2 y Figuras de Bland & Altman comprendidas desde la 14 hasta la 26).

Finalmente, en lo referente a la subpoblación de mujeres se procedió a la comparación de la media aritmética (1352) medida por el método de la calorimetría indirecta con las medias aritméticas estimadas de cada una de las trece ecuaciones estimativas o predictivas: Cunningham (1485); Elia (1411); Garby (1401); Heshka (1401); Heymsfield (1285); Hoffmans (1383); Jensen (1572); Kashiwazaki (1419); Luke (1495); McNeill (1308); Mifflin (1310); Owen (1305); y Ravussin (1419) encontrando en 2 (15.38%), en 9 (69.23%) y en 2 (15.38%) de las 13 comparaciones valores de CCI comprendidos entre 0.21 y 0.40, entre 0.41 y 0.60 y entre 0.61 y 0.80 lo que corresponde, respectivamente, a grados de concordancia “bajo”, “moderado” y “bueno”, lo cual se corresponde con las gráficas de Bland & Altman (Cuadro 3 y Figuras de Bland & Altman comprendidas desde la 27 hasta la 39).

DISCUSIÓN

Con respecto a la población total, los valores estimados de las medias aritméticas del GER obtenidos de las once ecuaciones estimativas o predictivas

(Cunningham, Elia, Heshka, Heymsfield, Jensen, Kashiwazaki, Luke, McNeill, Mifflin, Owen y Ravussin) basadas en masa libre de grasa y de las dos ecuaciones predictivas (Garby y Hoffmans) basadas en masa libre de grasa y en masa grasa son concordantes con el valor medido de la media aritmética del GER obtenido por el método de la calorimetría indirecta. Se obtuvieron 6 (46.15%) grados de concordancia etiquetados como “bueno” y 7 (53.85%) grados de concordancia etiquetados como “muy bueno”.

Con relación a la subpoblación de hombres los valores estimados de las medias aritméticas del GER obtenidos de las once ecuaciones estimativas o predictivas (Cunningham, Elia, Heshka, Heymsfield, Jensen, Kashiwazaki, Luke, McNeill, Mifflin, Owen y Ravussin) basadas en masa libre de grasa y de las dos ecuaciones predictivas (Garby y Hoffmans) basadas en masa libre de grasa y en masa grasa son concordantes con el valor medido de la media aritmética del GER obtenido por el método de la calorimetría indirecta. Se encontraron 13 (100.00%) grados de concordancia etiquetados como “bueno”.

Finalmente, en lo referente a la subpoblación de mujeres los valores estimados de las medias aritméticas del GER obtenidos de las once ecuaciones estimativas o predictivas (Cunningham, Elia, Heshka, Heymsfield, Jensen, Kashiwazaki, Luke, McNeill, Mifflin, Owen y Ravussin) basadas en masa libre de grasa y de las dos ecuaciones predictivas (Garby y Hoffmans) basadas en masa libre de grasa y en masa grasa son concordantes con el valor medido de la media aritmética del GER obtenido por el método de la calorimetría indirecta. Se encontraron en 2 (15.38%), en 9 (69.23%) y en 2 (15.38%) de las 13 comparaciones valores de CCI comprendidos entre 0.21 y 0.40, entre 0.41 y 0.60 y entre 0.61 y 0.80, lo que corresponde, respectivamente, a grados de concordancia “bajo”, “moderado” y “bueno”.

En otro orden de cosas, en la práctica es posible determinar el GER de un sujeto con mayor

precisión, incluso, que su correspondiente ingesta energética. Hasta hace poco tiempo el método más exacto para la determinación del GER era la calorimetría, ya fuera directa o indirecta. Actualmente otras técnicas, como el agua doblemente marcada y el método de dilución de bicarbonato, han demostrado ser tan buenas o mejores que la calorimetría. Sin embargo, estos métodos de determinación son muy laboriosos, muy caros y no se encuentran disponibles en la práctica clínica actual en la que lo más frecuente es la utilización de ecuaciones estimativas o predictivas que permiten estimaciones suficientemente precisas del GER, basadas y validadas con los métodos anteriormente descritos (Alonso-Franch *et al.*, 2006).

La posibilidad de realizar estimaciones del GER tanto en estudios poblacionales como en estudios muestrales se ve limitada al empleo de ecuaciones estimativas o predictivas. El problema surge a la hora de decidir cuál de ellas es más exacta, válida y reproducible.

En el caso del presente estudio el objetivo fue el comparar si las distintas ecuaciones estimativas o predictivas para la estimación del GER (Cunningham, Elia, Garby, Heshka, Heymsfield, Hoffmans, Jensen, Kashiwazaki, Luke, McNeill, Mifflin, Owen y Ravussin) eran equiparables al método de la calorimetría indirecta.

Puede decirse que en la población total, la subpoblación de hombres y la subpoblación de mujeres todas las ecuaciones estimativas o predictivas son recomendables para la estimación del GER debido a su concordancia moderada, buena y muy buena con el GER medido por el método de la calorimetría indirecta.

Al igual que en otros estudios, hay tanto ecuaciones estimativas o predictivas que subestiman o que sobreestiman el GER en comparación con el método de la calorimetría indirecta y no existe consenso entre los autores sobre cuál es la ecuación estimativa o predictiva más adecuada.

Finalmente, es necesario recalcar la necesidad de realizar nuevos estudios con muestras homogé-

neamente distribuidas (principalmente del mismo género y edad) y con un número limitado de unidades de observación para poder estudiar y comparar el GER medido mediante técnicas de calorimetría y aplicando modelos teóricos predictivos (ecuaciones de estimación o ecuaciones de predicción) con el objeto de conocer cuál de ellas se ajusta mejor en nuestra población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO-FRANCH, M., M.P. REDONDO DEL RÍO, J. TORRECILLA-CAÑAS, M.J. CASTRO-ALIJA, F. CONDE-REDONDO, D. REDONDO-MERINERO & M.J. MARTÍNEZ-SOPENA. 2006. DIFICULTADES DE LA ESTIMACIÓN DEL GASTO ENERGÉTICO EN LA POBLACIÓN INFANTIL. *BOLETÍN DE PEDIATRÍA* 46(195): 74-108.
- ARGIMON-PALLÁS, J.M. Y JIMÉNEZ-VILLA, J. (2004). MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA Y EPIDEMIO-LÓGICA. TERCERA EDICIÓN. MADRID: ELSEVIER SPAIN, S.L., 1-395. ISBN: 978-84-8174-709-6.
- BARTKO, J.J. 1966. THE INTRACLAS CORRELATION COEFFICIENT AS A MEASURE OF RELIABILITY. *PSYCHOLOGICAL REPORTS* 19(1): 3-11.
- BLAND, J.M. & D.G. ALTMAN. 1986. STATISTICAL METHODS FOR ASSESSING AGREEMENT BETWEEN TWO METHODS OF CLINICAL MEASUREMENT. *LANCET* 1(8476): 307-310.
- BLAND, J.M. & D.G. ALTMAN. 1996. MEASUREMENT ERROR AND CORRELATION COEFFICIENTS. *BRITISH MEDICAL JOURNAL* 313(7048): 41-42.
- BRAVO, G. & L. POTVIN. 1991. ESTIMATING THE RELIABILITY OF CONTINUOUS MEASURES WITH CRONBACH'S ALPHA OR THE INTRACLAS CORRELATION COEFFICIENT: TOWARD THE INTEGRATION OF TWO TRADITIONS. *JOURNAL OF CLINICAL EPIDEMIOLOGY* 44(4-5): 381-390.
- BRETÓN-LESMESS, I., M.C. CUERDA-COMPÉS, M. CAMBLOR-ÁLVAREZ & P. GARCÍA-PERIS. 2000. TÉCNICAS DE COMPOSICIÓN CORPORAL EN EL ESTUDIO DE LA OBESIDAD. PP: 169-90 IN: MORENO, B., S. ESTEBAN, J. MONEREO-MEGIAS & ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ (EDS.). *OBESIDAD: LA EPIDEMIA DEL SIGLO XXI*. MADRID: EDICIONES DÍAZ DE SANTOS.
- CHUMLEA, W.C. & S.S. GUO. 1994. BIOELECTRICAL IMPEDANCE AND BODY COMPOSITION: PRESENT STATUS AND FUTURE DIRECTIONS. *NUTRITION REVIEWS* 52(4): 123-131.
- CHUMLEA, W.C., R.N. BAUMGARTNER & A.F. ROCHE. 1988. SPECIFIC RESISTIVITY USED TO ESTIMATE FAT-FREE MASS FROM SEGMENTAL BODY MEASURES OF BIOELECTRIC IMPEDANCE. *THE AMERICAN JOURNAL OF CLINICAL NUTRITION* 48(1): 7-15.
- CUNNINGHAM, J.J. 1980. A REANALYSIS OF THE FACTORS INFLUENCING BASAL METABOLIC RATE IN NORMAL ADULTS. *THE AMERICAN JOURNAL OF CLINICAL NUTRITION* 33(11): 2372-2374.
- DA ROCHA, E.E., V.G. ALVES & R.B. DA FONSECA. 2006. INDIRECT CALORIMETRY: METHODOLOGY, INSTRUMENTS AND CLINICAL APPLICATION. *CURRENT OPINION IN CLINICAL NUTRITION AND METABOLIC CARE* 9(3): 247-256.
- DANIEL W.W. 2014. *BIOESTADÍSTICA: BASE PARA EL ANÁLISIS DE LAS CIENCIAS DE LA SALUD*. MÉXICO, D.F. EDITORIAL LIMUSA WILEY. CUARTA EDICIÓN 176 pp.
- DAVIS, K.A., T. KINN, T.J. ESPOSITO, R.L. REED, J.M. SANTANIELLO & F.A. LUCHETTE. 2006. NUTRITIONAL GAIN VERSUS FINANCIAL GAIN: THE ROLE OF METABOLIC CARTS IN THE SURGICAL ICU. *THE JOURNAL OF TRAUMA* 61(6): 1436-1440.
- DICKERSON, R.N. & L. ROTH-YOUSEY. 2005A. MEDICATION EFFECTS ON METABOLIC RATE: A SYSTEMATIC REVIEW (PART 1). *JOURNAL OF THE AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION* 105(5): 835-843.
- DICKERSON, R.N. & L. ROTH-YOUSEY. 2005B. MEDICATION EFFECTS ON METABOLIC RATE: A SYSTEMATIC REVIEW (PART 2). *JOURNAL OF THE AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION* 105(6): 1002-1009.
- DIVISÓN, J.A., J. CARBAYO, C. SANCHÍS & L.M. ARTIGAO. 2001. CONCORDANCIA ENTRE LAS AUTOMEDIDAS DOMICILIARIAS Y LA MONITORIZACIÓN AMBULATORIA DE LA PRESIÓN ARTERIAL. *MEDICINA CLÍNICA* 116(19): 759.

- ELIA, M. 1992. ORGAN AND TISSUE CONTRIBUTION TO METABOLIC RATE. PP. 61-77 IN: KINNEY, J.M. (ED.). ENERGY METABOLISM: TISSUE DETERMINANTS AND CELLULAR COROLLARIES. NEW YORK: RAVEN PRESS LTD.
- FLEISS, J.L. 1986. THE DESIGN AND ANALYSIS OF CLINICAL EXPERIMENTS. JOHN WILEY & SONS, INC. NEW YORK.
- GARBY, L., J.S. GARROW, B. JØRGENSEN, O. LAMMERT, K. MADSEN, P. SØRENSEN & J. WEBSTER. 1988. RELATION BETWEEN ENERGY EXPENDITURE AND BODY COMPOSITION IN MAN: SPECIFIC ENERGY EXPENDITURE IN VIVO OF FAT AND FAT-FREE TISSUE. EUROPEAN JOURNAL OF CLINICAL NUTRITION 42(4): 301-305.
- GARCÍA DE LORENZO MATEOS, A. 2007. DICCIONARIO LID METABOLISMO Y NUTRICIÓN. MADRID: EDITORIAL LID, 189 pp.
- GARCÍA DE LORENZO, A. & J. ÁLVAREZ. 2005. REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS EN SITUACIONES PATOLÓGICAS. PP: 29-52 IN: GIL A. TRATADO DE NUTRICIÓN. TOMO IV. MADRID: ACCIÓN MÉDICA.
- HARRIS, J.A. & F.G. BENEDICT. 1919. A BIOMETRIC STUDY OF BASAL METABOLISM IN MAN. CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON. WASHINGTON DC. 279: 1-266.
- HAUGEN, H.A., L.N. CHAN & F. LI. 2007. INDIRECT CALORIMETRY: A PRACTICAL GUIDE FOR CLINICIANS. NUTRITION IN CLINICAL PRACTICE 22(4): 377-388.
- HERNÁNDEZ-AGUADO, I., M. PORTA-SERRA, M. MIRALLES, F. GARCÍA-BENAVIDES & F. BOLÚMAR. 1990. LA CUANTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD EN LAS OBSERVACIONES CLÍNICAS. MEDICINA CLÍNICA 95: 424-429.
- HESHKA, S., M.U. YANG, J. WANG, P. BURT & F.X. PI-SUNYER. 1990. WEIGHT LOSS AND CHANGE IN RESTING METABOLIC RATE. THE AMERICAN JOURNAL OF CLINICAL NUTRITION 52 (6): 981-986.
- HEYMSFIELD, S.B., R.D. HOFF, T.F. GRAY, J. GALLOWAY & K. CASPER. 1988. HEART DISEASES. PP. 477-530 IN: KINNEY, J.M., K.N. JEEJEEBHOY, G.L. HILL & O.E. OWEN. NUTRITION AND METABOLISM IN PATIENT CARE. PHILADELPHIA: HARCDOVER, WB SAUNDERS COMPANY.
- HOFFER, E.C., C.K. MEADOR & D.C. SIMPSON. 1970. A RELATIONSHIP BETWEEN WHOLE BODY IMPEDANCE AND TOTAL BODY WATER VOLUME. ANNALS OF THE NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES 170(2): 452-461.
- HOFFMANS, M., W.A. PFEIFER, B.L. GUNDLACH, H.G. NIJKRAKE, A.J. OUDE-OPHUIS & J.G. HAUTVAST. 1979. RESTING METABOLIC RATE IN OBESE AND NORMAL WEIGHT WOMEN. INTERNATIONAL JOURNAL OF OBESITY 3(2): 111-118.
- HOUTKOOPER, L.B., T.G. LOHMAN, S.B. GOING & W.H. HOWELL. 1996. WHY BIOELECTRICAL IMPEDANCE ANALYSIS SHOULD BE USED FOR ESTIMATING ADIPOSITY. THE AMERICAN JOURNAL OF CLINICAL NUTRITION 64(3): 436-448.
- JACOBS, D.O. 1997. BIOELECTRICAL IMPEDANCE ANALYSIS: IMPLICATIONS FOR CLINICAL PRACTICE. NUTRITION IN CLINICAL PRACTICE 12(5): 204-210.
- JENSEN, M.D., J.S. BRAUN, R.J. VETTER & H.M. MARSH. 1988. MEASUREMENT OF BODY POTASSIUM WITH A WHOLE-BODY COUNTER: RELATIONSHIP BETWEEN LEAN BODY MASS AND RESTING ENERGY EXPENDITURE. MAYO CLINIC PROCEEDINGS 63 (9): 864-868.
- KASHIWAZAKI, H., T. SUZUKI & T. INAOKA. 1988. POSTPRANDIAL RESTING METABOLIC RATE AND BODY COMPOSITION IN THE MODERATELY OBESE AND NORMAL-WEIGHT ADULT SUBJECTS AT SITTING POSTURE. JOURNAL OF NUTRITIONAL SCIENCE AND VITAMINOLOGY 34(4): 399-411.
- KOTLER, D.P., S. BURASTERO, J. WANG & R.N. PIERSON JR. 1996. PREDICTION OF BODY CELL MASS, FAT-FREE MASS, AND TOTAL BODY WATER WITH BIOELECTRICAL IMPEDANCE ANALYSIS: EFFECTS OF RACE, SEX, AND DISEASE. THE AMERICAN JOURNAL OF CLINICAL NUTRITION 64(3): 489-497.
- KROUWER, J.S. & K.L. MONTI. 1995. A SIMPLE, GRAPHICAL METHOD TO EVALUATE LABORATORY ASSAYS. EUROPEAN JOURNAL OF CLINICAL CHEMISTRY AND CLINICAL BIOCHEMISTRY 33(8): 525-527.

- KUSHNER, R.F. 1992. BIOELECTRICAL IMPEDANCE ANALYSIS: A REVIEW OF PRINCIPLES AND APPLICATIONS. *JOURNAL OF THE AMERICAN COLLEGE OF NUTRITION* 11(2): 199-209.
- LANDIS, J.R. & G.G. KOCH. 1977. THE MEASUREMENT OF OBSERVER AGREEMENT FOR CATEGORICAL DATA. *BIOMETRICS* 33(1): 159-174.
- LATOUR, J., V. ABRAIRA, J.B. CABELLO & J. LÓPEZ-SÁNCHEZ. 1997. INVESTIGATION METHODS IN CLINICAL CARDIOLOGY. IV. CLINICAL MEASUREMENTS IN CARDIOLOGY: VALIDITY AND ERRORS OF MEASUREMENTS. *REVISTA ESPAÑOLA DE CARDIOLOGÍA* 50(2): 117-128.
- LÓPEZ DE ULLIBARRI-GALPARSORO, I. & S. PITA-FERNÁNDEZ. 1999. MEDIDAS DE CONCORDANCIA: EL ÍNDICE DE KAPPA. *CADERNOS DE ATENCIÓN PRIMARIA* 6: 169-171.
- LÜHRMANN, P.M., B.M. HERBERT, C. KREMS & M. NEUHÄUSER-BERTHOLD. 2002. A NEW EQUATION ESPECIALLY DEVELOPED FOR PREDICTING RESTING METABOLIC RATE IN THE ELDERLY FOR EASY USE IN PRACTICE. *EUROPEAN JOURNAL OF NUTRITION* 41(3): 108-113.
- LUIZ, R.R., A.J. COSTA, P.L. KALE & G.L. WERNECK. 2003. ASSESSMENT OF AGREEMENT OF A QUANTITATIVE VARIABLE: A NEW GRAPHICAL APPROACH. *JOURNAL OF CLINICAL EPIDEMIOLOGY* 56(10): 963-967.
- LUKE, A. & D.A. SCHOELLER. 1992. BASAL METABOLIC RATE, FAT-FREE MASS, AND BODY CELL MASS DURING ENERGY RESTRICTION. *METABOLISM: CLINICAL AND EXPERIMENTAL* 41(4): 450-456.
- MANUAL DE PROCEDIMIENTOS. TOMA DE MEDIDAS CLÍNICAS Y ANTROPOMÉTRICAS EN EL ADULTO Y ADULTO MAYOR. 2002. SECRETARÍA DE SALUD. SUBSECRETARÍA DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN DE LA SALUD. CENTRO NACIONAL DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA. PROGRAMA DE SALUD DEL ADULTO Y EL ANCIANO; pp. 17-31.
- MARSÉ-MILLA, P., M. DIEZ-POCH & J.M. RAURICH-PUIGDEBALL. 2008. CALORIMETRÍA: APLICACIONES Y MANEJO. *NUTRICIÓN CLÍNICA EN MEDICINA* 2(3): 155-166.
- MARTÍNEZ DE MORENTIN, B.E., S. PÉREZ-DÍEZ, M. HERNÁNDEZ & J.A. MARTÍNEZ. 2009. COMPARACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL GASTO ENERGÉTICO DE ADULTOS OBESOS EN REPOSO. *ACTIVIDAD DIETÉTICA* 13(1): 3-9.
- MCGRAW, K.O. & S.P. WONG. 1996. FORMING INFERENCES ABOUT SOME INTRACLASS CORRELATION COEFFICIENTS. *PSYCHOLOGICAL METHODS* 1(1): 30-46.
- MCNEILL, G., J.P. RIVERS, P.R. PAYNE, J.J. DE BRITTO & R. ABEL. 1987. BASAL METABOLIC RATE OF INDIAN MEN: NO EVIDENCE OF METABOLIC ADAPTATION TO A LOW PLANE OF NUTRITION. *HUMAN NUTRITION. CLINICAL NUTRITION* 41(6): 473-483.
- MIFFLIN, M.D., S.T. ST JEOR, L.A. HILL, B.J. SCOTT, S.A. DAUGHERTY & Y.O. KOH. 1990. A NEW PREDICTIVE EQUATION FOR RESTING ENERGY EXPENDITURE IN HEALTHY INDIVIDUALS. *THE AMERICAN JOURNAL OF CLINICAL NUTRITION* 51(2): 241-247.
- MONTI, K.L. 1995. FOLDED EMPIRICAL DISTRIBUTION FUNCTION CURVES—MOUNTAIN PLOTS. *THE AMERICAN STATISTICIAN* 49(4): 342-345.
- NYBOER, J. 1950. ELECTRICAL IMPEDANCE PLETHYSMOGRAPHY; A PHYSICAL AND PHYSIOLOGIC APPROACH TO PERIPHERAL VASCULAR STUDY. *CIRCULATION* 2(6): 811-821.
- OWEN, O.E., J.L. HOLUP, D.A. D'ALESSIO, E.S. CRAIG, M. POLANSKY, K.J. SMALLEY, E.C. KAVLE, M.C. BUSHMAN, L.R. OWEN, M.A. MOZZOLI, Z.V. KENDRICK & G.H. BODEN. 1987. A REAPPRAISAL OF THE CALORIC REQUIREMENTS OF MEN. *THE AMERICAN JOURNAL OF CLINICAL NUTRITION* 46(6): 875-885.
- PATIL, S.R. & J. BHARADWAJ. 2011. COMPARISON OF DIFFERENT METHODS TO ESTIMATE BMR IN ADOLESCENT STUDENT POPULATION. *INDIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY AND PHARMACOLOGY* 55(1): 77-83.
- PAZ-CEREZO, M., C. SIERRA-SALINAS, L. DEL RÍO-MAPELLI, A. BARCO-GÁLVEZ, C. DELGADO-ÚTRERA & A. JURADO ORTIZ. 2003. INFLUENCIA DEL GASTO ENERGÉTICO EN LA OBESIDAD INFANTIL. *ANALES DE PEDIATRÍA* 58(4): 316-321.

- PITA-FERNÁNDEZ, S. & S. PÉRTEGAS-DÍAZ. 2003. PRUEBAS DIAGNÓSTICAS. SENSIBILIDAD Y ESPECIFICIDAD. *CADERNOS DE ATENCIÓN PRIMARIA* 10: 120-124.
- PRIETO, L., R. LAMARCA & A. CASADO. 1998. ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF CLINICAL FINDINGS: THE INTRACLAS CORRELATION COEFFICIENT. *MEDICINA CLÍNICA* 110(4): 142-145.
- RAURICH, J.M., J. IBÁÑEZ & P. MARSÉ. 1996. PRODUCCIÓN DE CO₂ Y TERMOGÉNESIS INDUCIDAS POR LA NUTRICIÓN ENTERAL Y PARENTERAL. *NUTRICIÓN HOSPITALARIA* 11(2): 108-113.
- RAVUSSIN, E., B. BURNAND, Y. SCHUTZ & E. JÉQUIER. 1982. TWENTY-FOUR-HOUR ENERGY EXPENDITURE AND RESTING METABOLIC RATE IN OBESE, MODERATELY OBESE, AND CONTROL SUBJECTS. *THE AMERICAN JOURNAL OF CLINICAL NUTRITION* 35(3): 566-573.
- RIPOLLÉS-ORTÍ, M., E. MARTÍN-RIOBOÓ, A. DÍAZ-MORENO, B. ARANGUREN-BAENA, M. MURCIA-SIMÓN, A. TOLEDANO-MEDINA & F.J. FONSECA DEL POZO. 2001. CONCORDANCIA EN LA MEDICIÓN DE PRESIÓN ARTERIAL ENTRE DIFERENTES PROFESIONALES SANITARIOS. ¿SON FIABLES LOS ESFIGMOMANÓMETROS DE MERCURIO? *ATENCIÓN PRIMARIA* 27(4): 234-243.
- SACKETT, D.L. 1992. A PRIMER ON THE PRECISION AND ACCURACY OF THE CLINICAL EXAMINATION. *THE JOURNAL OF THE AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION* 267(19): 2638-2644.
- SIIRALA, W., K.T. OLKKOLA, T. NOPONEN, A. VUORI & R. AANTAA. 2010. PREDICTIVE EQUATIONS OVER-ESTIMATE THE RESTING ENERGY EXPENDITURE IN AMYOTROPHIC LATERAL SCLEROSIS PATIENTS WHO ARE DEPENDENT ON INVASIVE VENTILATION SUPPORT. *NUTRITION & METABOLISM* 7: 1-70.
- SZKLO, M. & J. NIETO. 2003. EPIDEMIOLOGÍA INTERMEDIA: CONCEPTOS Y APLICACIONES. MADRID: EDICIONES DÍAZ DE SANTOS, S.A. 345-346 pp.
- VALTUEÑA, S., V. ARIJA & J. SALAS. 1996. ESTADO ACTUAL DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL: DESCRIPCIÓN, REPRODUCIBILIDAD, PRECISIÓN, ÁMBITOS DE APLICACIÓN, SEGURIDAD, COSTE Y PERSPECTIVAS DE FUTURO. *MEDICINA CLÍNICA* 106: 624-635.

CUADROS

Cuadro 1. Trece ecuaciones predictivas para predecir el gasto energético en reposo (Kcal/día) de masa libre de grasa y de masa libre de grasa + masa grasa en adultos según autores

AUTORES	ECUACIONES PREDICTIVAS
Cunningham, 1980	$GER = (21.6 \times MLG) + 501.6$
Elia, 1992	$GER = (21.11 \times MLG) + 450$
Garby et al., 1988	$GER = [(117.0 \times MLG) + (26.4 \times MG)]/4.1868$
Heshka, 1990	$GER = (22.94 \times MLG) + 356.7$
Heymsfield et al., 1988	$GER = (21.6 \times MLG) + 302$
Hoffmans et al., 1979	$GER = [(113 \times MLG) + (33.1 \times MG)]/4.1868$
Jensen et al., 1988	$GER = (20.0 \times MLG) + 662$
Kashiwazaki et al., 1988	$GER = (24.5 \times MLG) + 304$
Luke & Schoeller, 1992	$GER = (20.0 \times MLG) + 585$
McNeill et al., 1987	$GER = (21.5 \times MLG) + 329$
Mifflin et al., 1990	$GER = (19.7 \times MLG) + 413$
Owen et al., 1987	$GER = (22.3 \times MLG) + 290$
Ravussin et al., 1982	$GER = (20.82 \times MLG) + 471$

GER= Gasto energético en reposo (Kcal/día)

MLG= Masa libre de grasa (en kilogramos)

MG= Masa grasa (en kilogramos)

Cuadro 2. Medidas de resumen (medias aritméticas y desviaciones estándar), coeficientes de correlación intraclase y grados de concordancia correspondientes a la población total según ecuaciones estimativas o predictivas y calorimetría indirecta

Ecuaciones estimativas o predictivas	Medidas de resumen		Coeficientes de correlación intraclase	Grados de concordancia
	Medias aritméticas	Desviaciones estándar		
Cunningham	*1635	218.76	0.7927	Bueno
Elia	*1557	213.83	0.8200	Muy bueno
Garby	*1581	264.38	0.8431	Muy bueno
Heshka	*1560	232.39	0.8319	Muy bueno
Heymsfield	*1435	218.81	0.7923	Bueno
Hoffmans	*1557	255.55	0.8473	Muy bueno
Jensen	*1711	202.58	0.7142	Bueno
Kashiwazaki	*1589	248.13	0.8324	Muy bueno
Luke	*1634	202.58	0.7784	Bueno
McNeill	*1457	217.76	0.8041	Bueno
Mifflin	*1446	199.55	0.7817	Bueno
Owen	*1460	225.86	0.8115	Muy bueno
Ravussin	*1563	210.88	0.8167	Muy bueno
Calorimetría indirecta	**1535	305.69		

*= Gasto energético en reposo estimado (en Kcal/día)

**= Gasto energético en reposo medido (en Kcal/día)

Cuadro 3. Medidas de resumen (medias aritméticas y desviaciones estándar), coeficientes de correlación intraclase y grados de concordancia correspondientes a la subpoblación de hombres según ecuaciones estimativas o predictivas y calorimetría indirecta

Ecuaciones estimativas o predictivas	Medidas de resumen		Coeficientes de correlación intraclase	Grados de concordancia
	Medias aritméticas	Desviaciones estándar		
Cunningham	*1785	201.14	0.7012	Bueno
Elia	*1704	196.59	0.7121	Bueno
Garby	*1761	244.52	0.7427	Bueno
Heshka	*1720	213.68	0.7263	Bueno
Heymsfield	*1585	201.22	0.6588	Bueno
Hoffmans	*1730	233.13	0.7421	Bueno
Jensen	*1850	186.28	0.6434	Bueno
Kashiwazaki	*1759	228.23	0.7297	Bueno
Luke	*1773	186.28	0.6914	Bueno
McNeill	*1606	200.25	0.6738	Bueno
Mifflin	*1583	183.48	0.6375	Bueno
Owen	*1615	207.69	0.6864	Bueno
Ravussin	*1708	193.89	0.7100	Bueno
Calorimetría indirecta	**1718	299.08		

*= Gasto energético en reposo estimado (en Kcal/día)

**= Gasto energético en reposo medido (en Kcal/día)

Cuadro 4. Medidas de resumen (medias aritméticas y desviaciones estándar), coeficientes de correlación intraclase y grados de concordancia correspondientes a la subpoblación de mujeres según ecuaciones estimativas o predictivas y calorimetría indirecta

Ecuaciones estimativas o predictivas	Medidas de resumen		Coeficientes de correlación intraclase	Grados de concordancia
	Medias aritméticas	Desviaciones estándar		
Cunningham	*1485	101.70	0.4333	Moderado
Elia	*1411	99.42	0.5293	Moderado
Garby	*1401	123.33	0.6130	Bueno
Heshka	*1401	107.98	0.5556	Moderado
Heymsfield	*1285	101.68	0.5245	Moderado
Hoffmans	*1383	126.89	0.6183	Bueno
Jensen	*1572	94.14	0.2907	Bajo
Kashiwazaki	*1419	115.25	0.5501	Moderado
Luke	*1495	94.14	0.3994	Bajo
McNeill	*1308	101.15	0.5460	Moderado
Mifflin	*1310	92.77	0.5288	Moderado
Owen	*1305	104.91	0.5509	Moderado
Ravussin	*1419	97.95	0.5175	Moderado
Calorimetría indirecta	**1352	176.20		

*= Gasto energético en reposo estimado (en Kcal/día)

**= Gasto energético en reposo medido (en Kcal/día)

FIGURAS

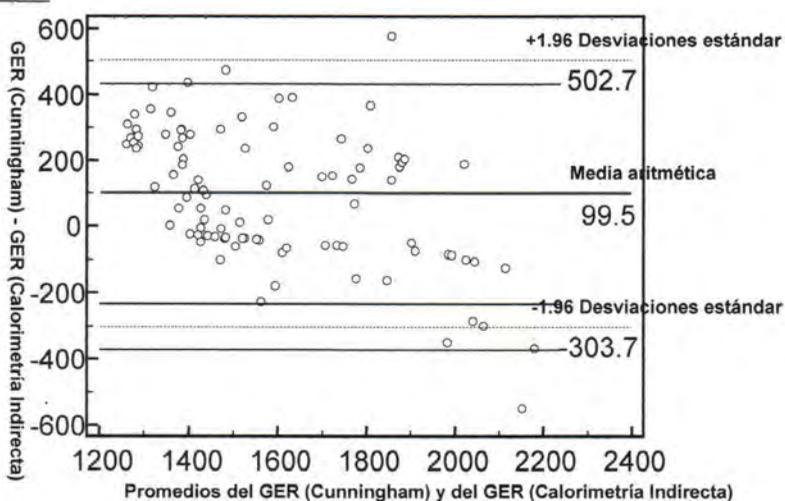
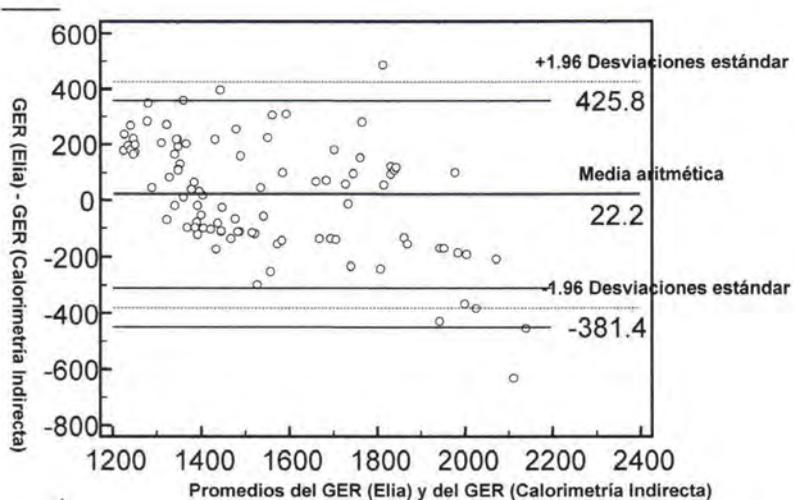


Figura 1. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de Cunningham



2. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de Elia

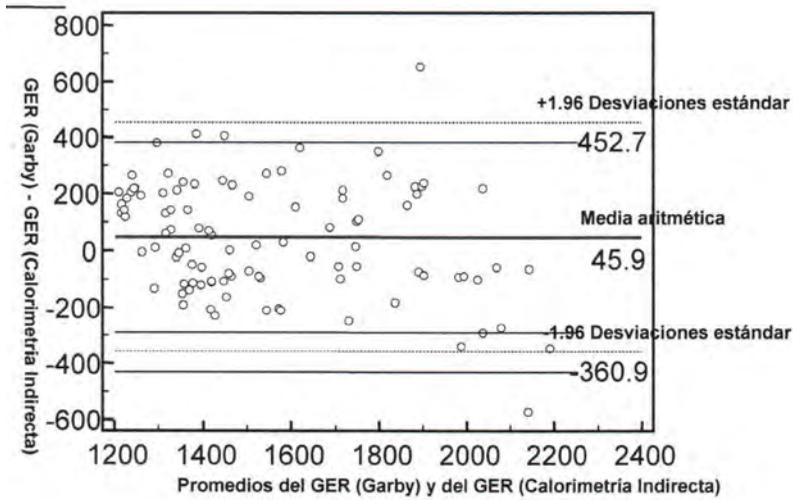


Figura 3. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de Garby

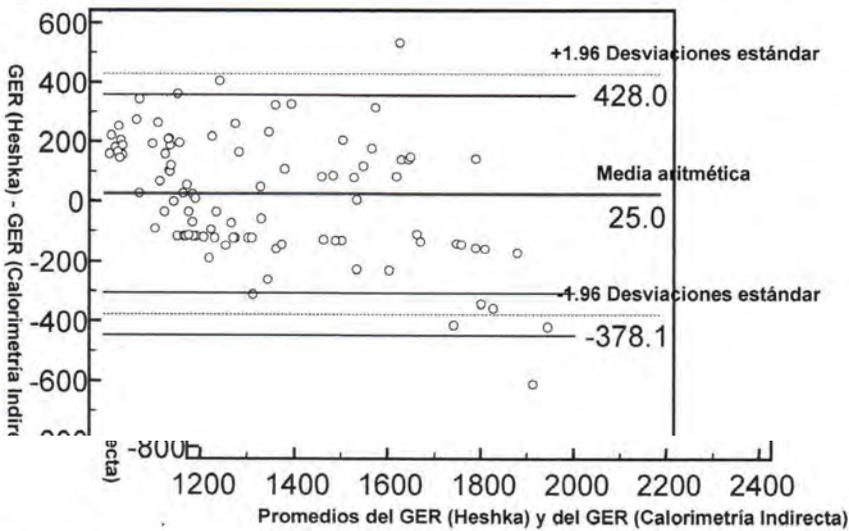


Figura 4. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de Heshka

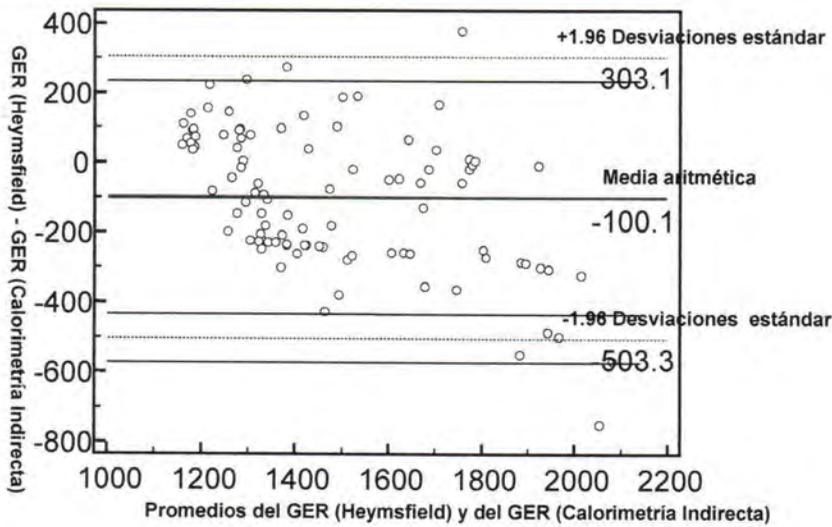


Figura 5. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de Heymsfield

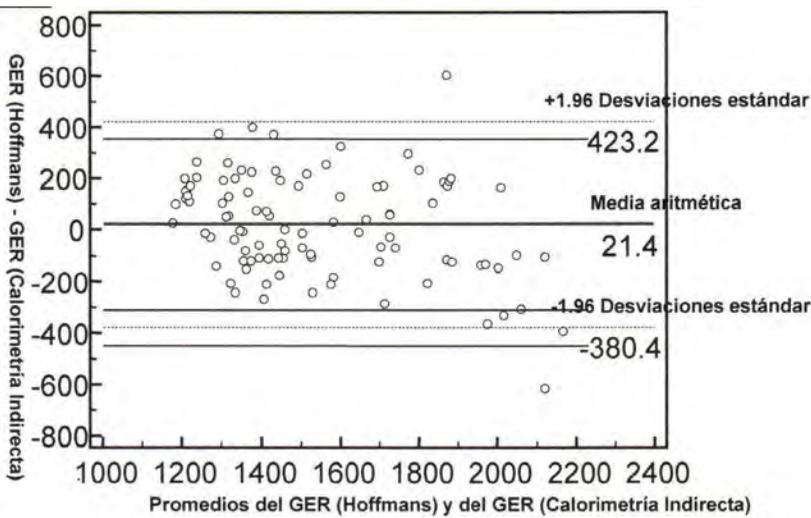


Figura 6. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de Hoffmans

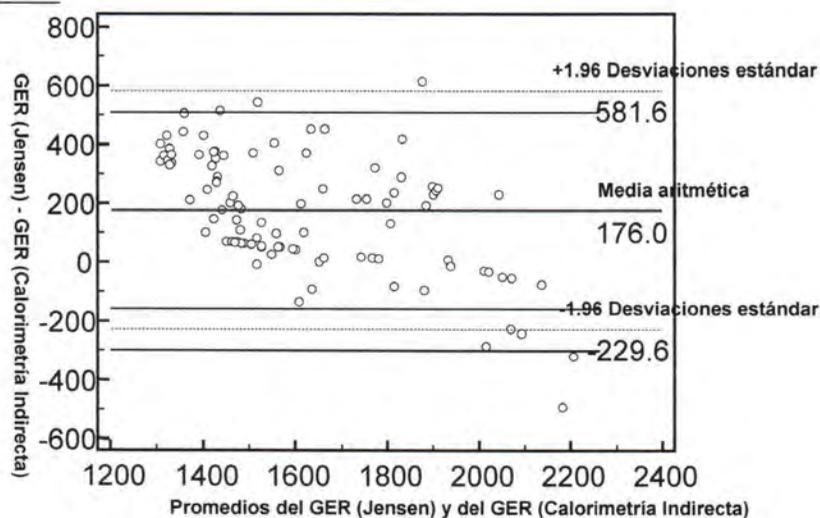


Figura 7. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de Jensen

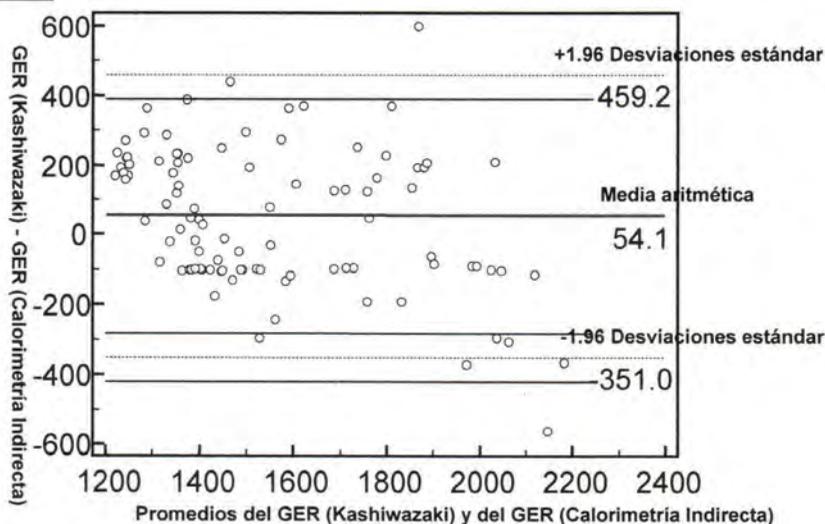


Figura 8. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de Kashiwazaki

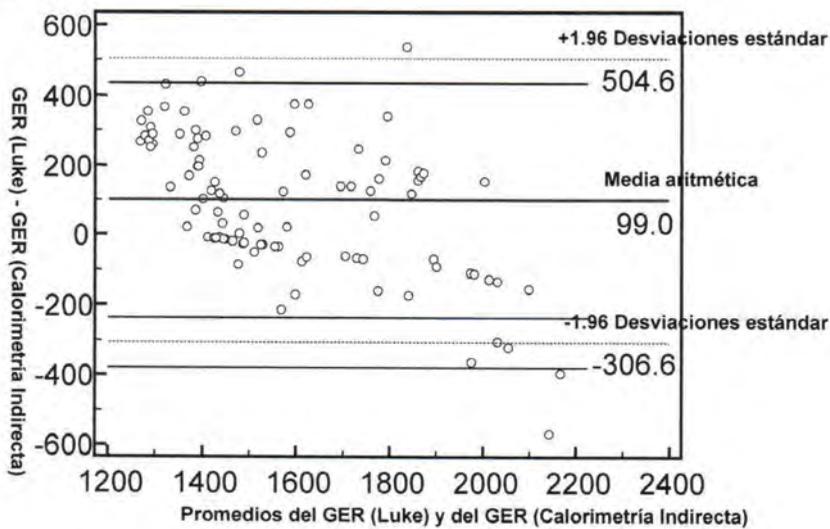


Figura 9. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de Luke

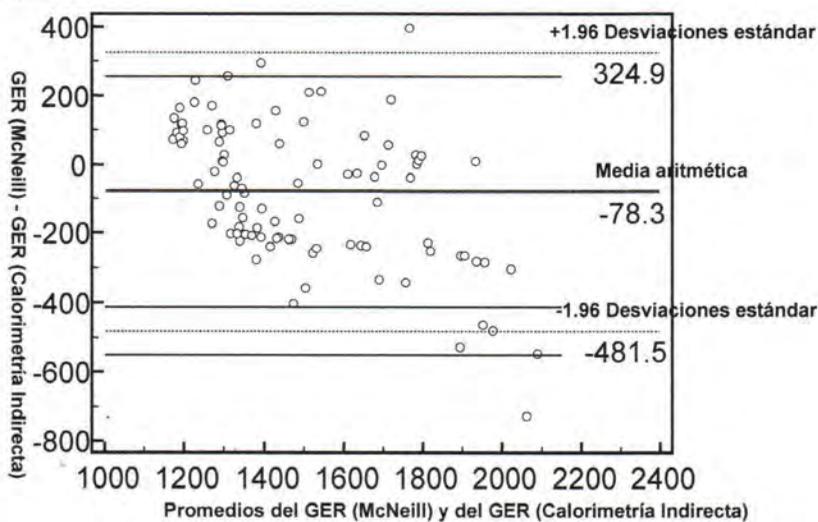


Figura 10. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de McNeill

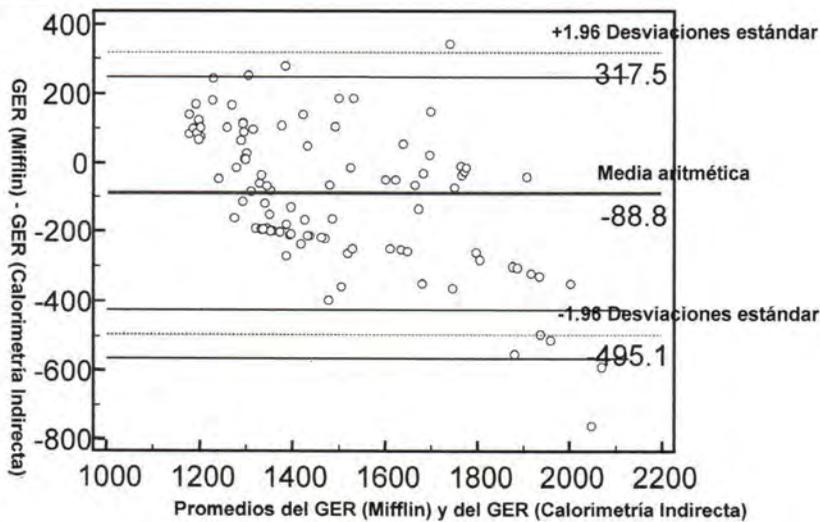


Figura 11. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de Mifflin

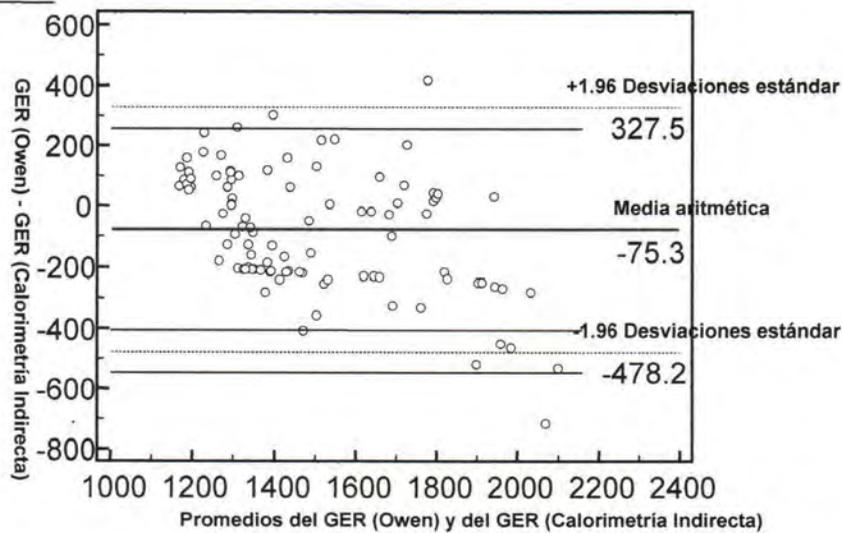


Figura 12. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de Owen

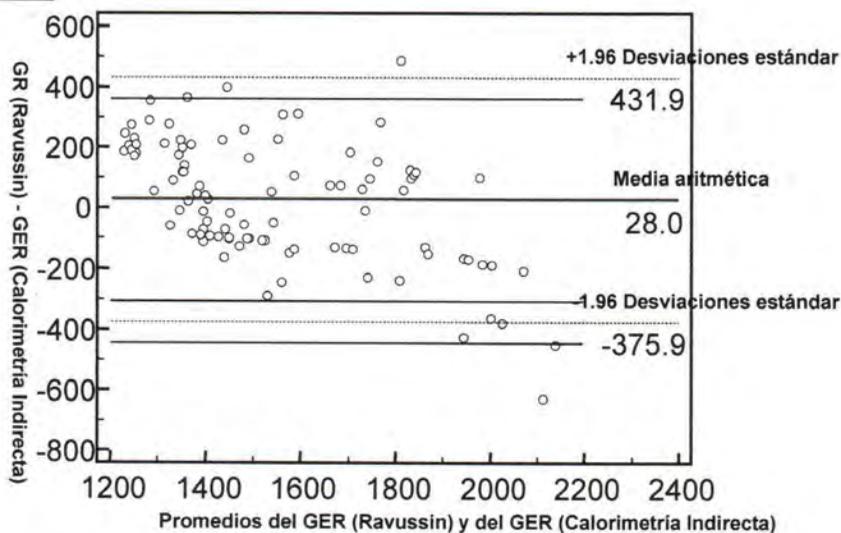


Figura 13. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **población total** según ecuación estimativa o predictiva de Ravussin

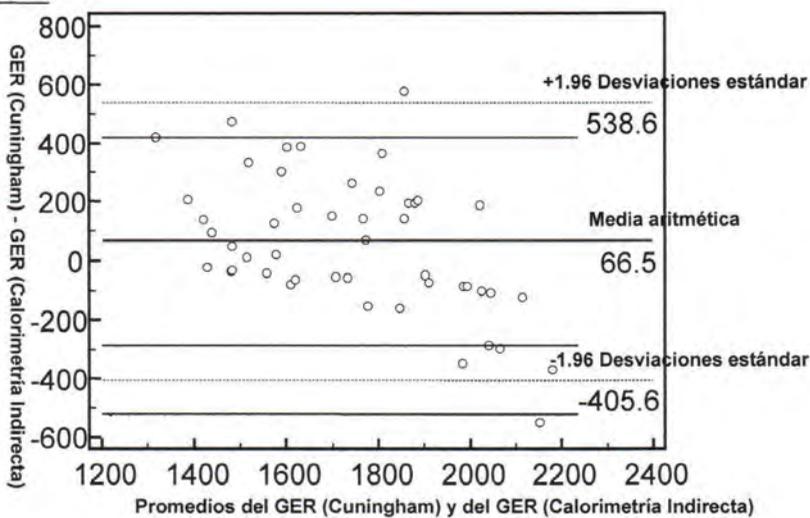


Figura 14. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de Cunningham

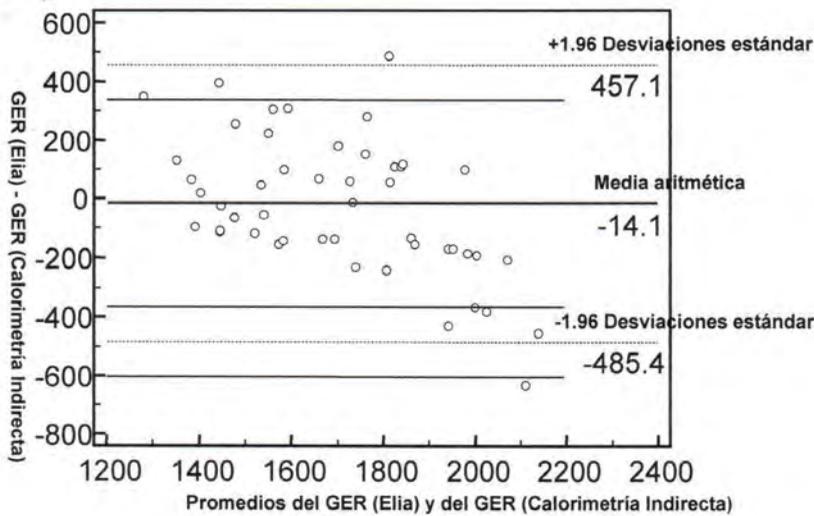


Figura 15. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de Elia

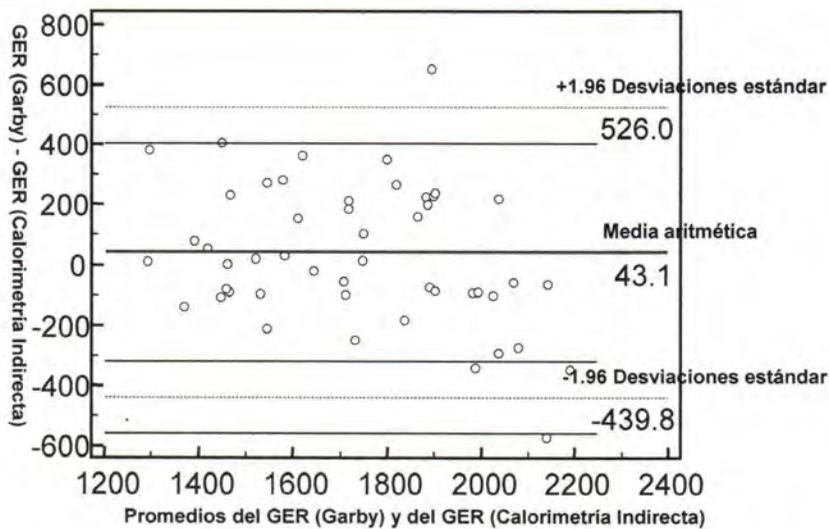


Figura 16. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de Garby

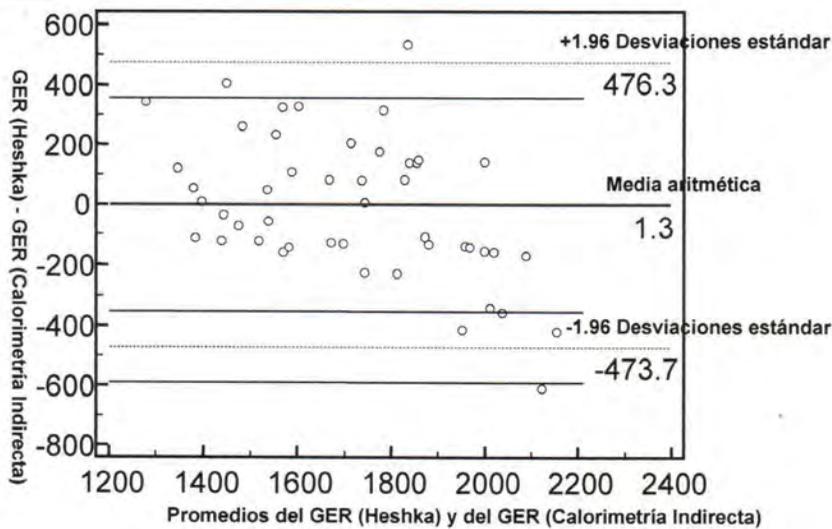


Figura 17. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de Heshka

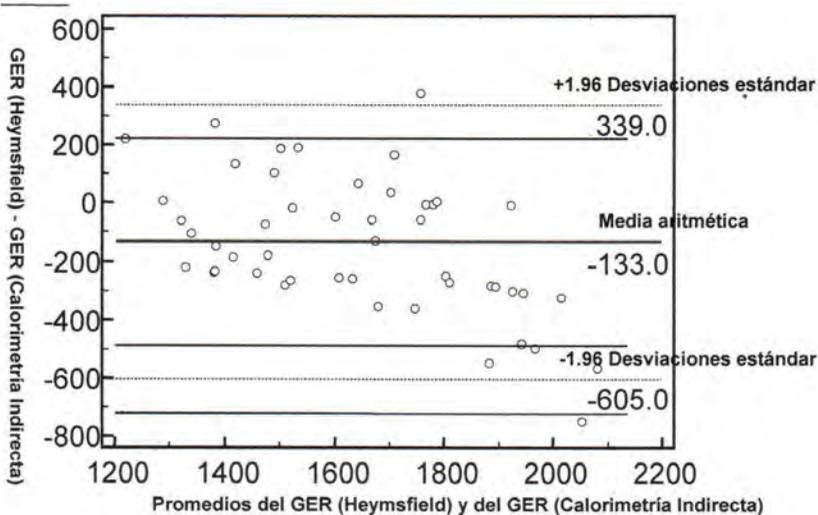


Figura 18. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de Heymsfield

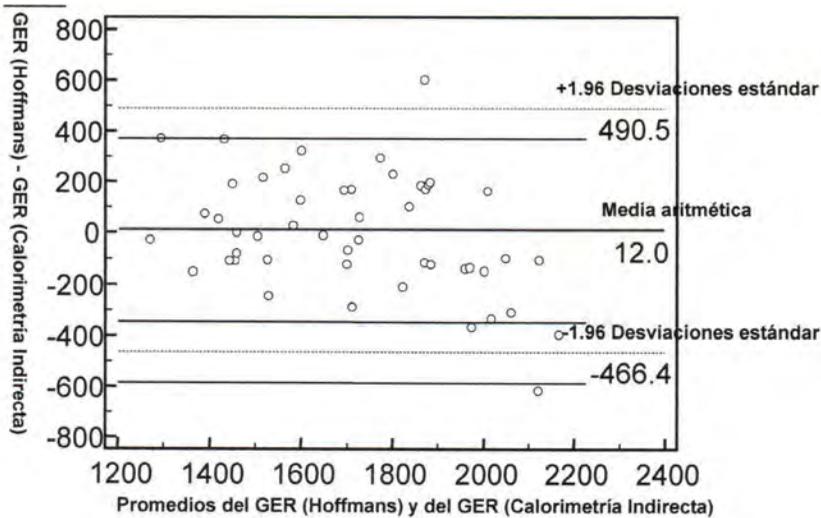


Figura 19. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de Hoffmans

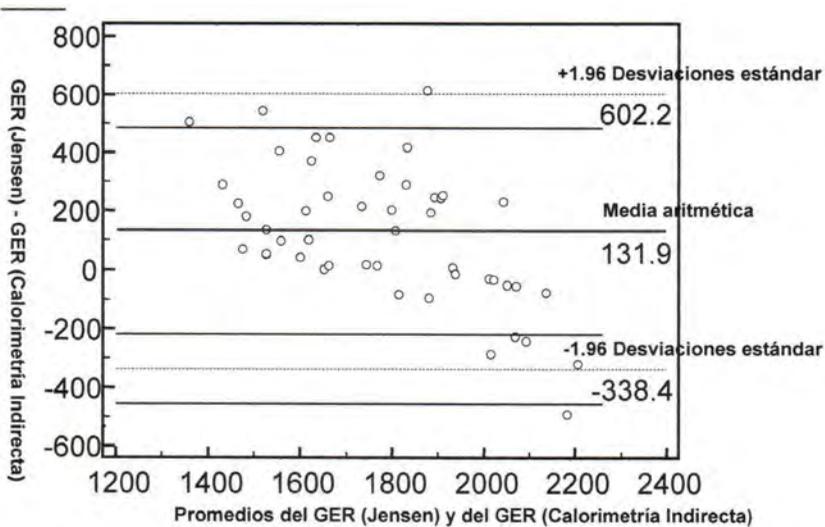


Figura 20. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de Jensen

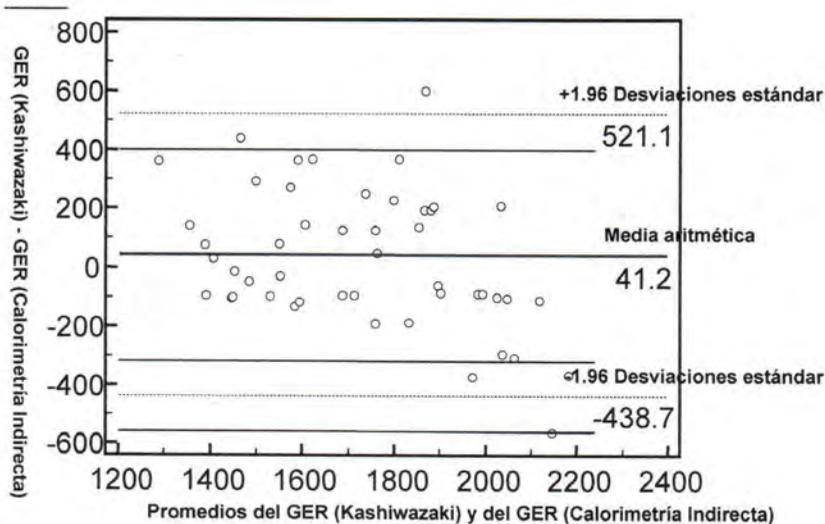


Figura 21. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de Kashiwazaki

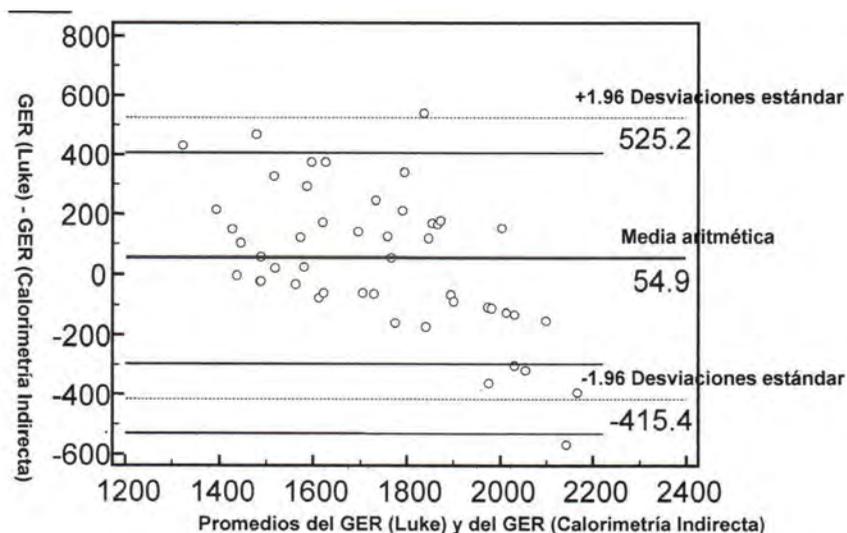


Figura 22. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de Luke

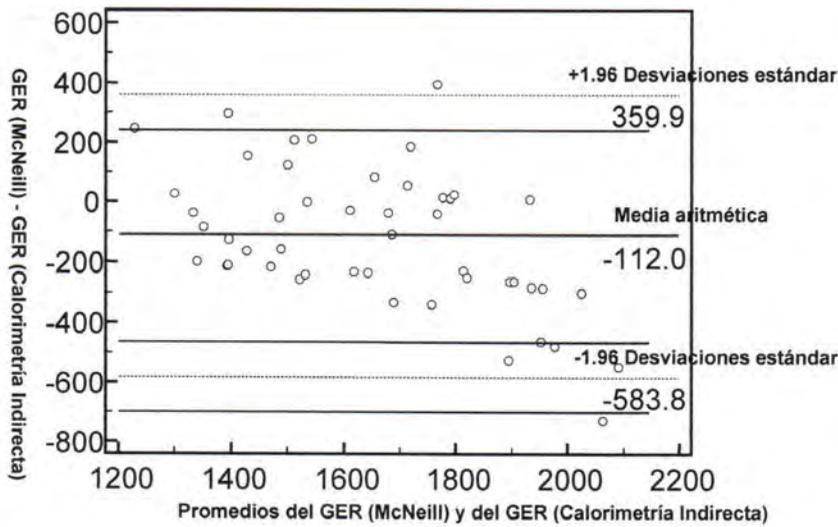


Figura 23. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de McNeill

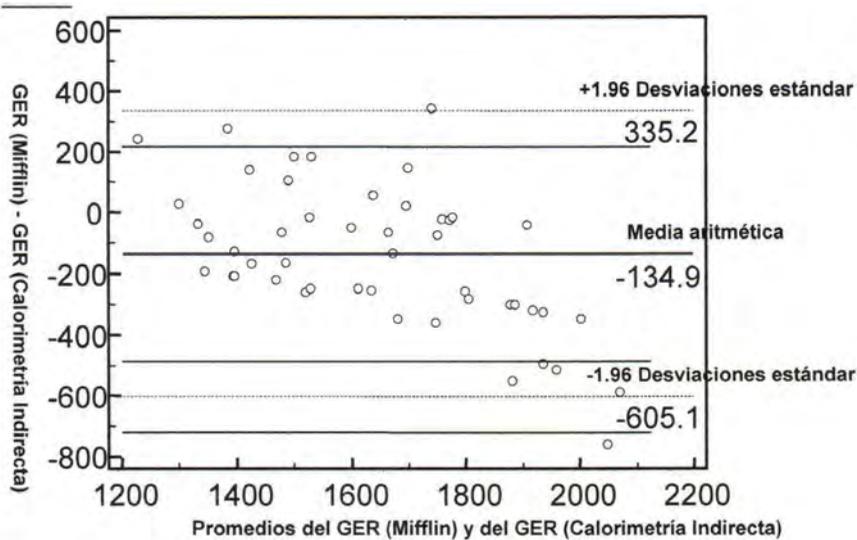


Figura 24. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de Mifflin

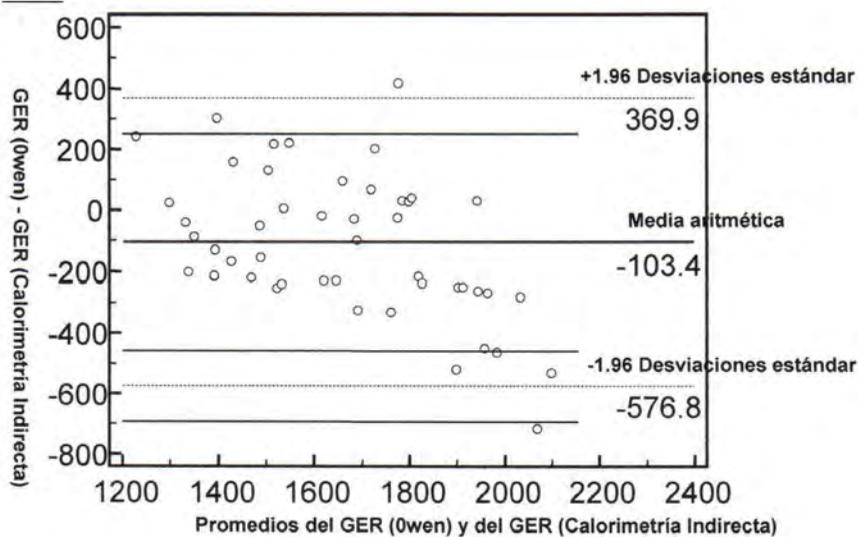


Figura 25. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de Owen

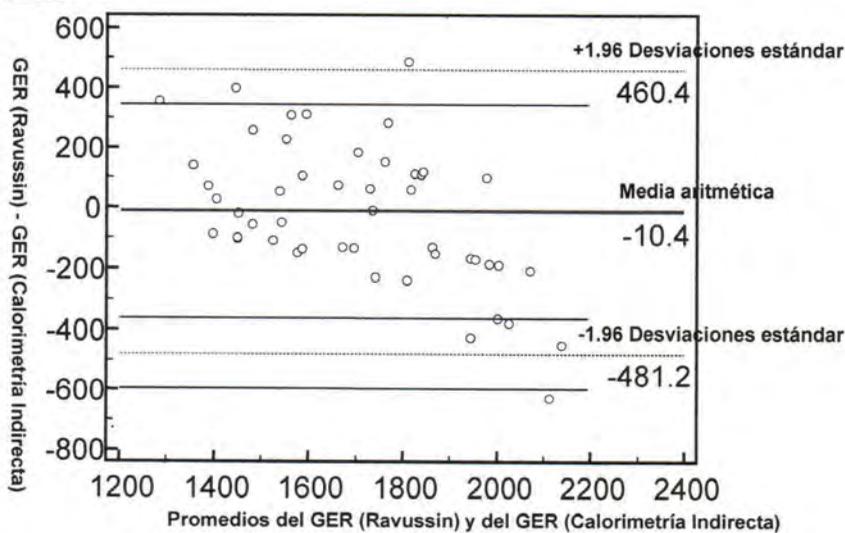


Figura 26. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de hombres** según ecuación estimativa o predictiva de Ravussin

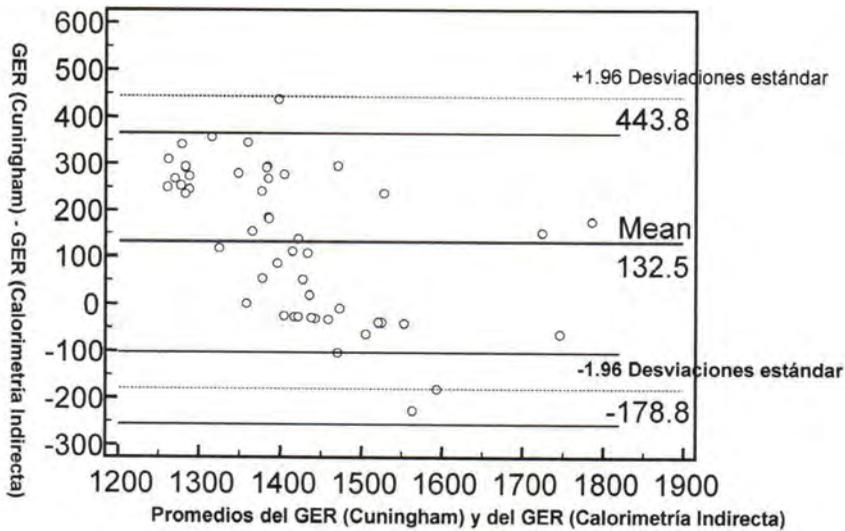


Figura 27. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de Cunningham

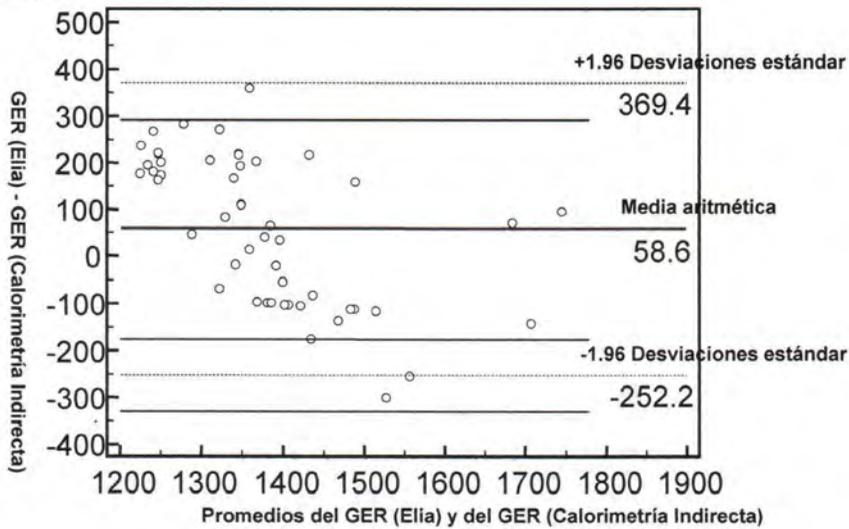


Figura 28. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de Elia

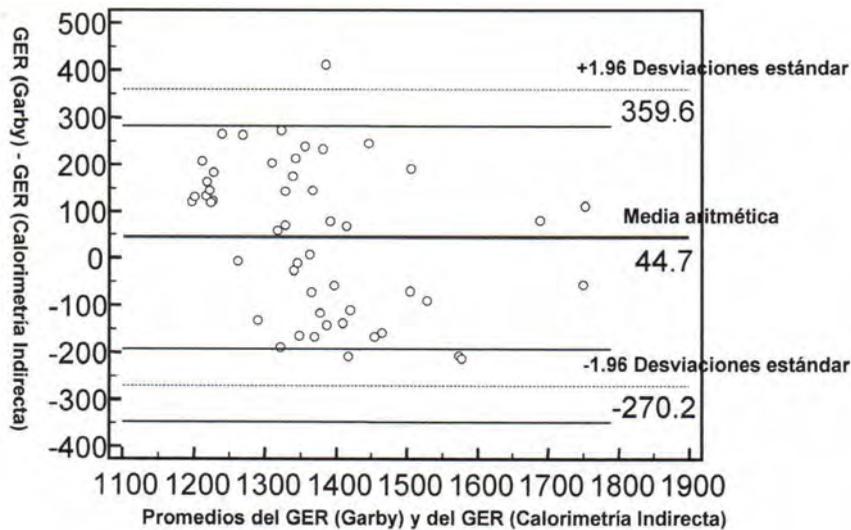


Figura 29. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de Garby

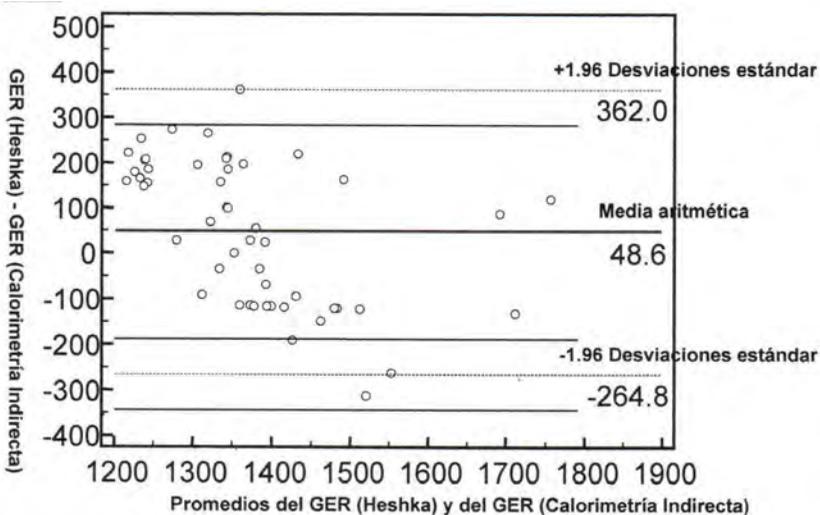


Figura 30. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de Heshka

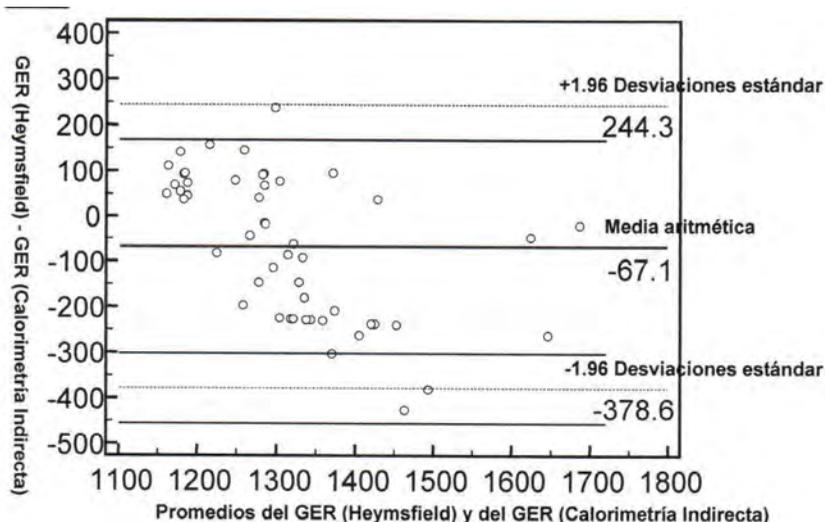


Figura 31. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de Heymsfield

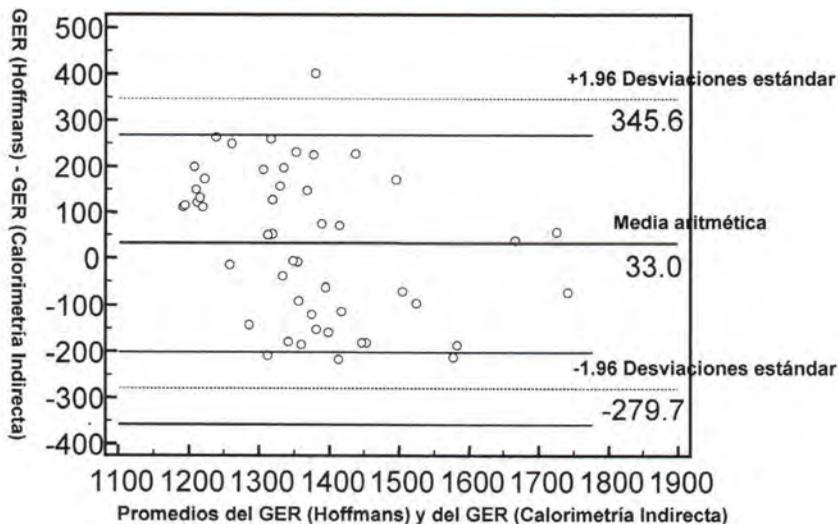


Figura 32. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de Hoffmans

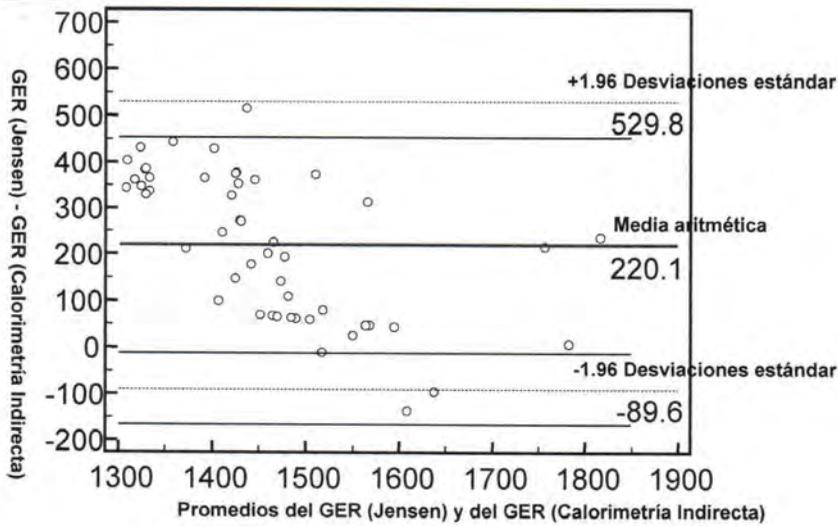


Figura 33. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de Jensen

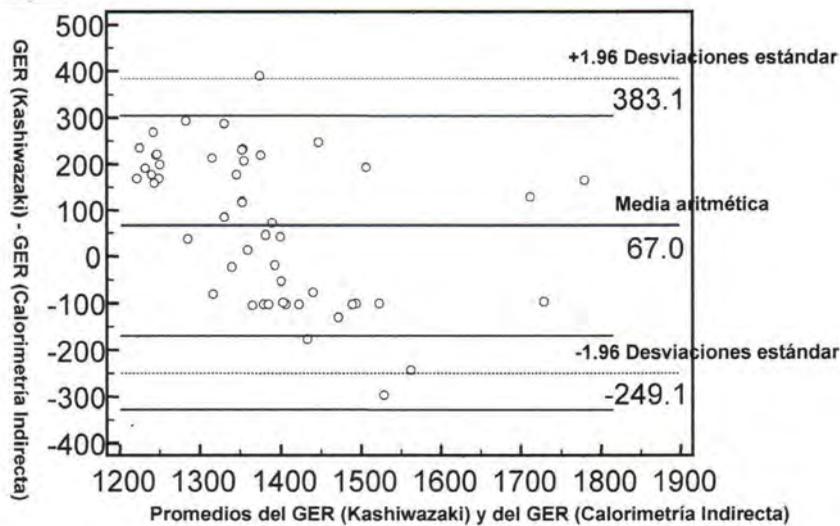


Figura 34. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de Kashiwazaki

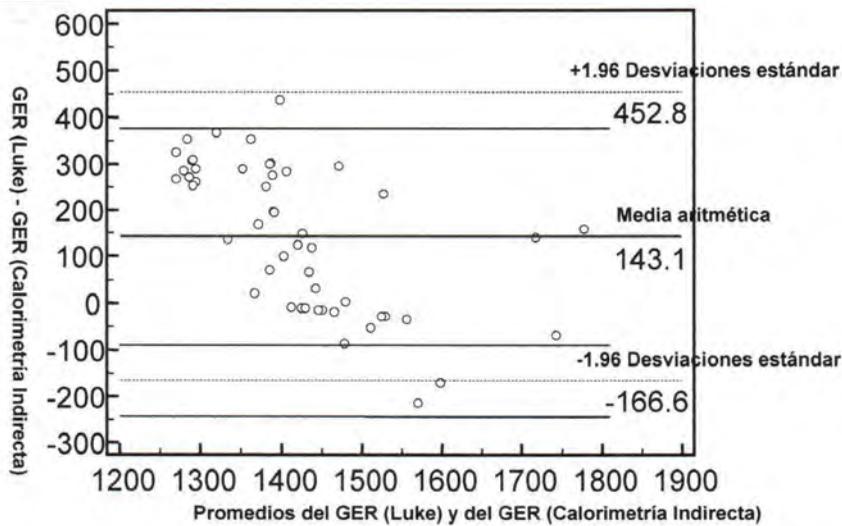


Figura 35. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de Luke

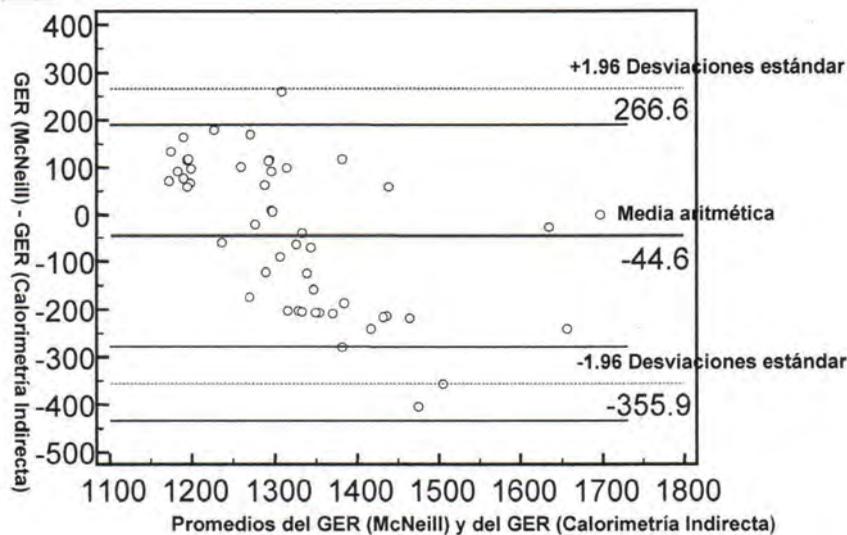


Figura 36. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de McNeill

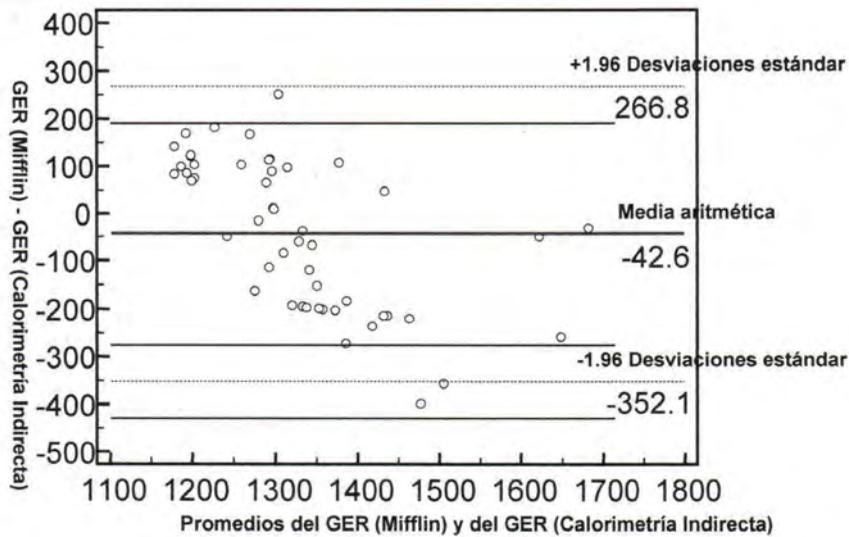


Figura 37. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de Mifflin

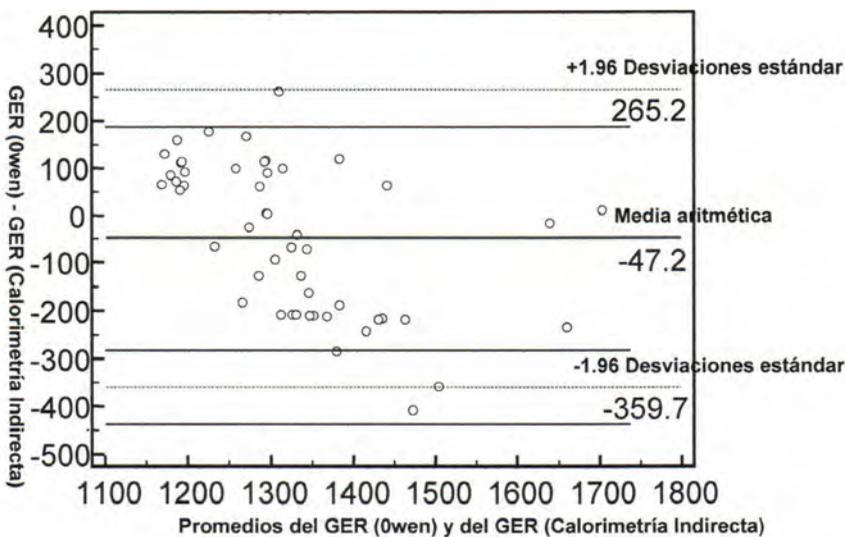


Figura 38. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de Owen

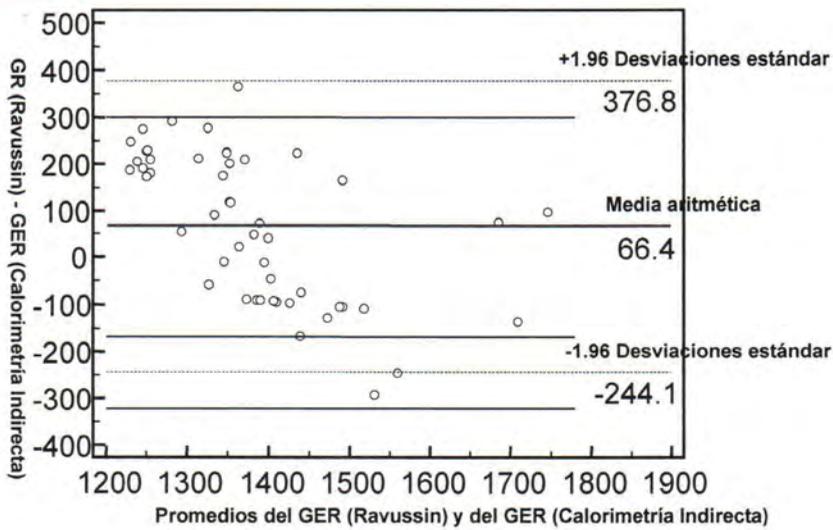


Figura 39. Media aritmética de las diferencias, límite inferior de concordancia y límite superior de concordancia correspondientes a la **subpoblación de mujeres** según ecuación estimativa o predictiva de Ravussin

RECIBIDO: 22 JUNIO DE 2015
ACEPTADO: 22 SEPTIEMBRE DE 2015

INVESTIGACIÓN

La exposición a bajas dosis de plomo en ratones CD-1 altera las actividades de las colinesterasas en órganos reproductores

López-Hernández Jessica,¹ López-Durán Rosa,¹ Vázquez-Trujillo Karinna,¹ Salame-Méndez Arturo,²
García-Suárez Dolores,³ Serrano Héctor,¹ Valencia-Quintana Rafael,⁴ Sánchez-Alarcón Juana,⁴
Salinas-Arreortua Noé,¹ Gómez-Olivares José Luis.^{1*}

RESUMEN

El plomo es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, la exposición ocupacional o no-ocupacional, puede causar alteraciones en la estructura y función de diversos tejidos. El objetivo en este estudio fue determinar en ratones de distintas etapas de desarrollo la influencia de la exposición a plomo sobre la actividad de las colinesterasas en los órganos reproductores. Los ratones fueron expuestos a acetato de plomo (3 ppm) en agua de beber. Al final del periodo de exposición fueron sacrificados los animales, se disectaron los órganos reproductores, se solubilizaron las proteínas. Se estimó el contenido total de proteínas el método de Bradford y las actividades acetilcolinesterasa y butirilcolinesterasa por el método de Ellman. La exposición al plomo en ratones CD-1 alteró el patrón de crecimiento en los individuos jóvenes, y en los adultos condujo a una desnutrición de primer grado. La exposición al plomo indujo cambios significativos en el tamaño de los órganos. En la actividad de las colinesterasas (ChEs), la exposición al plomo provocó efectos distintos, según la etapa de desarrollo, en los jóvenes ambas ChEs disminuyeron, mientras que en adultos se determinó un aumento en la actividad de ambas colinesterasas.

1 Departamento de Ciencias de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México. D.F.

2 Departamento de Biología de la Reproducción. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México. D.F.

3 Departamento de Biología Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México. D.F.

4 Facultad de Agrobiología. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Tlaxcala. México.

* Autor de correspondencia. Laboratorio de Biomembranas. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186. Col. Vicentina. C.P- 09340. Iztapalapa. México. Distrito Federal.

Palabras clave: *colinesterasas, órganos reproductores, testículos, ovarios, exposición a plomo, contaminación por plomo.*

INTRODUCCIÓN

El ambiente es constantemente alterado con compuestos químicos elaborados por actividades humanas (antropogénicas) como son las industrias químicas (v. gr., industrias petroquímica y químico-farmacéutica) (Salame-Méndez *et al.*, 2011), las cuales conllevan un riesgo para la salud de diversas poblaciones animales. Los metales pesados y, en particular el plomo, están íntimamente relacionados con la actividad humana, ya sea industrial o artesanal (Sánchez-Alarcón *et al.*, 2012), por lo que este metal requiere de especial cuidado e interés por sus efectos tóxicos.

El plomo puede afectar todos los órganos y sistemas del cuerpo. Se han realizado estudios sobre el efecto del plomo sobre la salud reproductora en humanos y animales de experimentación. A este respecto, se ha propuesto la existencia de una posible asociación entre las concentraciones del metal y los efectos adversos en el sistema reproductor, específicamente trastornos menstruales y amenaza de aborto en mujeres expuestas (Xuezhí *et al.*, 1992). En el caso de la evaluación de la exposición al plomo sobre la población masculina, existen informes controversiales sobre una posible asociación entre la exposición al plomo y una disminución de la fecundidad (Apostoli *et al.*, 2000).

Diversos estudios han evidenciado que la mayoría de los tejidos en los mamíferos muestran un sistema colinérgico no neural, dado que poseen los mecanismos moleculares para capturar a la colina, sintetizar a la acetilcolina (ACh), secretarla y responder a ella, a través de receptores nicotínicos y muscarínicos, cuya respuesta al efector debe controlarse por los niveles de la acetilcolina; en este nivel participan las colinesterasas (ChEs).

En la naturaleza existen dos tipos de ChEs: la actividad acetilcolinesterasa (AChE., E.C. 1.3.1.7. acetil-colina hidrolasa) es abundante en los tejidos

del sistema nervioso, muscular y sanguíneo. Su papel biológico es la hidrólisis de la ACh en las uniones nerviosas, neuromusculares o su presencia en el torrente sanguíneo. La actividad butirilcolinesterasa (BChE., E.C. 1.3.1.8. acil-hidrolasa) es abundante en corazón, hígado y plasma. Entre ellas se diferencian por sus propiedades cinéticas y selectividad a inhibidores (Gómez *et al.*, 1999). Como se ha señalado, todos los tejidos de los mamíferos poseen la capacidad de sintetizar ambas ChEs a un nivel específico.

Ambas enzimas colinesterásicas son diferentes por sus propiedades cinéticas y selectividad a inhibidores (Gómez *et al.*, 1999). Así como ser blanco de compuestos con capacidad anti-colinesterasa, tal es el caso de los plaguicidas organofosforados y carbámicos, que inactivan temporalmente a las enzimas al unirse a un residuo de serina localizado en el sitio catalítico. Diversos estudios evidencian que cuando los mamíferos se exponen a compuestos anti-colinesterásicos, se provocan cambios en la estructura y función de los órganos reproductores, hecho que indica la participación de las ChEs en su fisiología (Noro *et al.*, 2013).

En México, en los últimos 35 años ha disminuido significativamente el nivel de plomo en la sangre de los ciudadanos. Se han implementado medidas para disminuir las concentraciones ambientales de plomo, entre ellas se incluyen el uso de gasolina sin plomo y la restricción de uso vehicular varios días a la semana; no obstante, los niveles de plomo promedio en sangre son más de 4.5 veces mayores que en los Estados Unidos de Norteamérica (Carravanos *et al.*, 2014). Razón por la que no se debe menospreciar la búsqueda de biomarcadores de exposición y su potencial aplicación en el análisis de la salud reproductora o cualquier otro aspecto fisiológico humano provocado por la exposición aguda o crónica a bajas dosis, siendo elemental una especial atención en la población infantil y juvenil.

La gran diversidad y potenciales efectos que se encuentran en la literatura relacionada con la exposición al plomo, indican la necesidad de docu-

mentar la presencia de estos factores a través del inventario de emisiones, monitoreo de niveles de plomo en diversas fuentes, así como en la población, implantación de medidas de intervención directa sobre las fuentes de exposición (Meneses-González *et al.*, 2003) y evaluación del impacto sobre la salud reproductiva, el desarrollo embrionario y postnatal, así como sobre las actividades cerebrales superiores asociadas al comportamiento, aprendizaje y desarrollo social, las cuales requieren de una participación multidisciplinaria para tener un abordaje adecuado de esta problemática.

OBJETIVO

Evaluar los efectos de la exposición a dosis baja de acetato de plomo sobre las colinesterasas en órganos reproductores en ratones de la cepa CD-1 durante la etapa de gestación, lactancia, juvenil y adulta.

METODOLOGÍA

Exposición al plomo por vía oral

Se emplearon ratones machos y hembras de la cepa CD-1 que se mantuvieron en condiciones controladas de luz y oscuridad (12/12h). Los procedimientos de manutención y experimentación se siguieron según las especificaciones de la NOM-062-ZOO-1999. Se formaron diversos grupos; A) Control (n=4-5 animales por sexo), B) Exposición durante etapa gestacional (n=4 hembras preñadas de dos meses de edad, C) Exposición durante la lactancia (n= 12-14 crías por madre lactante), D) Exposición durante la etapa juvenil (n= 4-5 por sexo) y E) Exposición durante la etapa adulta (n= 4-5 por sexo). El tratamiento se hizo con acetato de plomo, el cual se administró por vía oral de 3 ppm en agua de beber durante 3 semanas (etapas gestacional y lactancia), o por 8 semanas (etapa juvenil y adulta). Durante el periodo de exposición, se evaluó el patrón de crecimiento, los hábitos de consumo de agua y de alimento.

Perfusión y obtención de órganos

Al final del periodo de exposición al plomo, los animales se sacrificaron por anestesia profunda inducida con pentobarbital sódico. Se realizó la perfusión de los órganos por el ventrículo izquierdo usando solución salina NaCl 154 mM pH 7.4, a una velocidad de 1 mL min⁻¹ durante 10-15 min. Por otro lado, se realizó la disección de los ovarios o testículos, se pesaron y almacenaron a -80 °C hasta su uso posterior.

Extracción de proteínas en órganos reproductores

Los ovarios o testículos se descongelaron en amortiguador Hepes (10 mM pH 7.0) conteniendo NaCl 1 M, MgCl₂ 50 mM, 6 mM EGTA, 3 mM EDTA, 1% Brij 97 (p/v) y conteniendo un cóctel de anti-proteasas. Posteriormente, se homogeneizaron bajo una relación 1:20 (P/V) en un politron (Cinematika, Alemania) a velocidad media. Durante todo el procedimiento el material biológico se mantuvo en baño de hielo.

Cuantificación del contenido total de proteínas

Para este propósito se empleó el método de Bradford (1976) en un micrométodo. En placas de microtitulación de 96 pozos (Started, Alemania), se realizó una curva de calibración usando albúmina sérica bovina (BSA. Sigma, E.U.A.), como proteína estándar. Las muestras se diluyeron 1:10 (v/v) y cuantificaron al mismo momento en que se elaboró la curva patrón. La absorbancia de las muestras se leyó a 590 nm de longitud de onda en un lector de placas de microtitulación (Biotek. E.U.A.). Se elaboró la gráfica y se obtuvo el valor de pendiente y, usando la ecuación de la recta, se calcularon los valores del contenido de proteínas totales en las muestras de suero, ovario o testículo. En todos los casos la curva de calibración y las muestras problema se midieron por cuadruplicado.

Determinación de la actividad colinesterásica

La estimación de las actividades acetil- o butirilcolinesterasa se basaron en el método de Ellman y colaboradores (1961). Se empleó un micrométodo a un volumen final de 275 μ L, que se desarrolló en una placa de 96 pozos (Starstedt, Alemania). El ensayo AChE se estimó con 1 mM de acetiltiocolina (Sigma, E.U.A.), el inhibidor específico de la actividad BChE Iso-OMPA 50 μ M (Sigma, E.U.A.). La actividad BChE se determinó con 1 mM de butiriltiocolina (Sigma, E.U.A.) y el inhibidor específico de la actividad AChE BW248c51 10 μ M (Sigma, E.U.A.) (Gómez *et al.*, 1999).

La producción del cromóforo (tiobenzato) fue proporcional a la actividad de la colinesterasa específica, que se puede seguir en un lector de microplacas (Biotek, E.U.A.) a una longitud de onda de 405 nm. Junto a las muestras problema se realizaron pocillos blanco, con volúmenes equivalentes de agua para estimar la hidrólisis espontánea del DTNB, cuya absorbancia fue eliminada de la absorbancia registrada en las muestras. En todos los casos, la actividad se estimó por tetraplicado.

Los valores de actividad AChE o BChE representan la cantidad de enzima que hidroliza un μ mol de substrato en una hora a 20 °C, en un volumen de 1 mL ($U = \mu\text{mol h}^{-1} \text{ mL}^{-1}$). Para el cálculo de la actividad específica (AE), se realizó el cociente de las unidades por mL y el valor de contenido de proteínas totales para cada muestra ($AE = U/\text{mg proteína}$).

Análisis estadístico

En los análisis descriptivos de los diferentes parámetros se presentan la media y el error estándar de 4-5 animales por grupo de tratamiento y los controles respectivos. Las estimaciones del contenido total de proteínas, así como la actividad enzimática se realizaron por cuadruplicado. La inferencia estadística se evaluó por la prueba de ANOVA de una vía. El nivel de confianza en todos los casos fue igual o mayor al 95% ($p < 0.05$).

RESULTADOS

En los ratones jóvenes y adultos, la administración de plomo a bajas dosis (3 ppm) produjo desnutrición de primer grado, debido a que presentaron un déficit mayor al 10% y menor a 25% respecto a los pesos corporales observados en los ratones control de la misma edad (Figura 1).

En la exposición al plomo durante la etapa gestacional se encontró que en todas las hembras hubo aborto antes del final de la preñez. En el caso de la exposición durante la lactancia, la transferencia del plomo se dio a través de la leche materna. En el experimento se formaron cuatro camadas con 12-14 crías por nodriza. Durante el paso de la lactancia, la madre fue adquiriendo una conducta agresiva hacia las crías, al extremo de desarrollar canibalismo, impidiendo el análisis del efecto de la exposición al plomo sobre las colinesterasas en órganos reproductores de ratones lactantes.

Posterior a la exposición de los ratones juveniles al plomo durante dos meses, se sacrificaron con exceso de anestésico. Se extrajeron los órganos reproductores y se calculó la relación peso de órgano/peso corporal (PO/PC). En la figura 2 se observa que la exposición al plomo no modificó el peso de los órganos reproductores de las hembras jóvenes y un comportamiento similar se mostró en los testículos de ratones jóvenes. En los ratones adultos, la exposición al plomo indujo una disminución significativa en el tamaño del ovario. Mientras que en el testículo no hubo modificación significativa en el tamaño.

Luego de la extracción de proteínas de los órganos reproductores de ratones hembra y macho juveniles, se determinó que el plomo provocó una disminución significativa en el contenido proteico. En el caso de los ratones adultos, la exposición al acetato de plomo no alteró significativamente el contenido de proteínas en el ovario y en el testículo, y se encontró un ligero aumento no significativo (Figura 3).

En ratones jóvenes del grupo control, la actividad AChE fue mayor que en los adultos. En el

análisis de los efectos de la exposición al plomo sobre la actividad AChE en ovarios de ratones, se encontró que, mientras que en el ovario de ratones jóvenes se provocó una disminución significativa, cercana al 50%, en los ratones adultos se indujo un aumento significativo.

Los ovarios de ratones jóvenes mostraron niveles de actividad butirilcolinesterasa similares a la extraída en los órganos de animales adultos (Figura 4). La exposición al plomo en el ovario de ratones jóvenes, produjo inhibición significativa en la actividad BChE ($p < 0.05$), mientras que en los ovarios de ratones adultos, la exposición al plomo provocó un aumento significativo.

En la figura 5 se muestra que en testículo de ratones jóvenes control, la actividad AChE fue menor que el nivel estimado en órganos de ratón adulto. La exposición al metal pesado no produjo alteración en la actividad AChE en ambos grupos de la misma edad. En dicha figura se observa que la actividad de BChE fue dos veces mayor que la actividad AChE. En los ratones adultos control y expuestos al plomo, se observaron diferencias.

DISCUSIÓN

En todo el mundo ha aumentado la emisión de contaminantes que han provocado problemas ambientales y aumentado el riesgo en la salud humana. Dicha emisión está compuesta, entre otros contaminantes, por una mezcla de metales pesados, siendo los principales; cadmio (Cd^{2+}), plomo (Pb^{2+}), y mercurio (Hg^{2+}); seguidos por elementos traza, como el zinc (Zn^{2+}) (Coleman, 1992).

En el caso del plomo, se ha establecido que puede afectar todos los órganos. En el caso de la salud reproductora, se ha propuesto la existencia de una posible asociación entre las concentraciones del metal y los efectos adversos en el sistema reproductor (Xuezhi *et al.*, 1992),

En una primera instancia se encontró que la exposición al plomo causó un patrón de crecimiento ralentizado independientemente de la edad de los ratones (Figura 1). Este efecto podría relacionarse

con malestares gastrointestinales producidos por el metal pesado. A este respecto, en niños, los episodios de cólicos son un síntoma de envenenamiento por plomo, que se caracteriza por una combinación de dolor abdominal, estreñimiento, calambres, náuseas, vómitos, anorexia y pérdida de peso (Pagliuca *et al.*, 1990; Schneitzer *et al.*, 1990; Rosenman *et al.*, 2003).

Los efectos de la exposición al plomo en los ratones adultos provocó desnutrición de primer grado. Esta observación se relaciona con cambios en los patrones alimentarios y de consumo de agua (resultados no mostrados), lo cual es similar a reportes anteriores, en que el plomo puede generar anorexia y vómito intermitente (Chisolm, 1965).

Adicionalmente, se ha observado que la exposición al plomo se relaciona con conducta social agresiva, que se ha asociado con alteraciones neuro-conductuales y psicológicas (Toscano y Guilarte, 2005). En el caso de las hembras en las etapas de lactancia o gestación expuestas al plomo se observó una conducta agresiva que culminó en canibalismo. Cabe señalar que se considera a las hembras de la cepa CD-1 más agresivas que las hembras Balbc o C57BL6. Leusis y colaboradores (2008) informaron que hembras adultas CD-1 mostraron un comportamiento “infanticida” en un porcentaje del 33%, usando crías con 6-11 días de edad, por lo que la exposición al plomo puede ser un factor que aumentó la conducta agresiva, siendo en este experimento una ocurrencia de hasta 100% de “infanticidios”.

Se ha descrito el efecto del plomo sobre la implantación del óvulo, disminución en las concentraciones circulatorias de la hormona luteinizante, la foliculo estimulante y estradiol, sin producir signos visibles de irregularidad menstrual, alteraciones persistentes en el ciclo menstrual e incluso, probablemente, una menopausia prematura (Wide y Nilsson, 1979; Laughlin *et al.*, 1987; Foster, 1992). Asimismo, se considera al plomo como un factor de riesgo para aborto espontáneo, disminución en peso al nacimiento y una baja ganancia en

peso corporal en el primer mes posparto, una disminución del perímetro cefálico e inhibición del desarrollo cognoscitivo (González-Cossio *et al.*, 1997; Borja-Aburto *et al.*, 1999; Rothenberg *et al.*, 1999). En este estudio se realizó la exposición durante el periodo gestacional, donde se observó que ninguna de las cuatro hembras consiguió finalizar la preñez; en todos los casos ocurrió aborto y la madre ingería a los fetos. Xuezhí y colaboradores (1992) observaron trastornos menstruales y amenaza de aborto en mujeres expuestas al plomo.

Los ratones jóvenes hembras o machos expuestos al plomo no mostraron diferencia significativa en el tamaño de los órganos reproductores. Sin embargo, la exposición al plomo en los ratones adultos provocó alteración significativa en el tamaño de los órganos reproductores. Mientras que en las hembras hubo una disminución significativa en el tamaño del ovario, en los machos hubo tendencia a un menor tamaño en los testículos (Figura 2). Estas observaciones podrían relacionarse con los efectos del plomo sobre la síntesis de proteína. Además, las diferencias en los efectos observados podrían relacionarse con las diferencias en la maduración de los órganos reproductores. En modelos animales expuestos al plomo se ha observado una supresión en la espermatogénesis reflejándose en la disminución significativa en el número de espermatozoides en el epidídimo y un incremento en el número de espermatozoides anormales, además de alterarse los niveles de testosterona sin cambios significativos en la hormona luteinizante (Sokol, 1990; Hsu *et al.*, 1998; Aziz *et al.*, 1998).

Por otro lado, en nuestro estudio se constató que la baja dosis de plomo tuvo un efecto significativo en la disminución del contenido de proteínas totales en las gónadas de hembras y machos en ratones jóvenes (Figura 3). Respecto a lo anterior, se ha observado que el plomo puede inducir represión de genes homeostáticos al hierro, a través de los elementos de respuesta a hierro (IRES, *iron-responsive elements*) (Stefanov, 2008). Asimismo, parece relacionarse con dos situaciones: a) la pre-

sencia del plomo disminuye la producción del núcleo hemo, lo que afecta la habilidad del organismo de producir hemoglobina, debido a que el plomo inhibe la dehidratasa del ácido d-amino levulínico, b) la actividad de la ferroquelatasa y está cataliza la inserción del hierro a la protoporfirina IX y es muy sensible al efecto del plomo; con la disminución de la actividad de esta enzima aumenta la protoporfirina del glóbulo rojo. La alteración de la síntesis del núcleo hemo, también afecta la funcionalidad de otros órganos (Poma, 2008).

Un paso trascendente en la funcionalidad de una enzima es la adquisición de una conformación tridimensional adecuada. Existen evidencias de que los metales pesados pueden unirse a proteínas nativas e inhibir su actividad biológica (Tamás *et al.*, 2014).

Las proteínas con motivos de dedos de zinc son la clase principal de factores de transcripción que en presencia de plomo adquieren el plegamiento correcto y la estabilidad que permite su unión a los ácidos nucleicos para regular la transcripción de genes blanco (Zawia *et al.*, 2000). Por lo tanto, la exposición al plomo podría inducir cambios estructurales y funcionales en estas proteínas, contribuyendo a la degeneración celular, expresión génica, la transducción de señales y la reparación de ADN alterado (Zawia *et al.*, 2000). Además, el plomo puede causar la generación de especies reactivas de oxígeno e inhibición de las enzimas anti-oxidantes (Villeda-Hernández *et al.*, 2006).

La actividad AChE es un biomarcador importante para determinar el efecto inhibitor del plomo en diversos organismos, como los son los peces teleosteos (Rico *et al.*, 2006). En un estudio en que el pez cebra fue expuesto a acetato de plomo durante 24 horas, se observó en el cerebro una inhibición en la actividad AChE (Richetti *et al.*, 2011). Se ha establecido que en el sistema colinérgico el nivel de la acetilcolina es importante en los procesos cognitivos, a través de la activación de los receptores colinérgicos muscarínicos y nicotínicos ionotrópicos metabotrópicos. No obstante, se ha establecido que

posee capacidad para promover la proliferación en diversos tipos celulares. A nivel tisular, las colinesterasas participan regulando el contenido de acetilcolina. A este respecto, las actividades de las ChEs en órganos reproductores control de los ratones jóvenes no expuestos al plomo fueron mayores que en los ratones adultos. Siendo evidente una mayor actividad colinesterásica en el testículo que en el ovario (Figuras 4 y 5).

El análisis sobre los efectos de la exposición al plomo sobre las colinesterasas en los órganos reproductores de ratones CD-1 mostró un comportamiento distinto según el órgano reproductor y la edad. En el ovario de ratones jóvenes se encontró una disminución significativa en las actividades acetilcolinesterasa y butirilcolinesterasa. Mientras que en los adultos la actividad acetilcolinesterasa mostró un aumento estadísticamente significativo, pero no así en la actividad butirilcolinesterasa (Figura 4).

En el caso de la actividad colinesterásica en testículo de ratón CD-1, se observó que la exposición al plomo produjo una disminución significativa en la actividad butirilcolinesterasa en ratones jóvenes, pero no así en la actividad acetilcolinesterasa en ambas edades (Figura 5).

Los cambios en las actividades en las colinesterasas pueden repercutir en aquellas funciones en que podría participar la acetilcolina. Se ha establecido que en tejidos no-neurales, la actividad acetilcolinesterasa puede cumplir funciones intracelulares al formar parte del apoptosoma (Park *et al.*, 2008) o interaccionar con proteínas que controlan el ciclo celular en líneas celulares de hepatocarcinoma o hepatoblastoma (Pérez-Aguilar *et al.*, 2015). En el caso de las funciones extracelulares, la acetilcolinesterasa participa en la proliferación-diferenciación de los megacariocitos (Grisaru *et al.*, 2001).

Los resultados descritos en el párrafo anterior se pueden entender por dos interpretaciones: a) el aumento en la actividad de las ChEs en los órganos reproductores se podría relacionar con la unión del

plomo a la proteína chaperona GRP78 (conocida antes como Bip), que se le ha denominado “regulador maestro” debido a que ayuda a transportar las proteínas recién sintetizadas en el retículo endoplásmico y asiste en el plegado y ensamblado (Laitusis *et al.*, 1999). Se ha propuesto que el plomo induce la agregación de la chaperona GRP78 (Qian *et al.*, 2005). Por lo que el aumento en la actividad de las ChEs, a que quedaron atrapadas-activas intracelularmente, impidiéndose su tráfico en la vía de secreción al medio extracelular. El efecto del plomo sobre la secreción de proteínas extracelulares se ha establecido en la secreción de la interleucina-6 y de una proteína de fusión constituida por GRP78 y la proteína verde fluorescente (Qian *et al.*, 2005).

B) No obstante, no se debe discriminar la interacción del plomo sobre la estructura de las proteínas. Sharma y colaboradores (2008) demostraron que los iones de metales pesados son potentes inhibidores del plegamiento de proteínas, lo que sugiere que la interferencia de los iones de metal con formas no nativas de proteínas podría resultar en deficiencias cuantitativas de las proteínas afectadas y en la formación de agregados proteo-tóxicos, que puede contribuir a explicar la sintomatología pleiotrópica de intoxicación por metales pesados (Kosnett *et al.*, 2007). Tal es el caso del cerebro en pez cebra, donde los niveles de transcripción de AChE se vieron modificados (Richetti *et al.*, 2011).

Cabe mencionar que la actividad de las colinesterasas se debe a sus diversas formas moleculares, cuyos oligómeros (dímeros) se estabilizan por puentes disulfuro, los cuales establecen la conformación nativa al reducir la entropía de la forma desplegada o al disminuir la tasa de plegado de proteínas desnaturalizadas irreversiblemente (Anfinsen y Scheraga, 1975). En las formas asimétricas, los tetrámeros están compuestos por dos pares de dímeros que presentan puentes disulfuro inter-subunidades. A su vez, ambos dímeros se unen a la estructura tallo-colagénico a través de puentes disulfuro (Soreq y Sakut, 1993). Por lo que el efecto

del plomo sobre las colinesterasas parece relacionarse con un cambio conformacional drástico que provoca la inhibición en la actividad de las formas moleculares blanco. Probablemente, el ambiente en los órganos reproductores, particularmente el testículo, parece proteger de los efectos del plomo.

En conjunto estos resultados permiten constatar que la dosis baja de plomo provocó un efecto particular sobre la actividad de las colinesterasas en tejidos gonadales de machos y hembras de ratón CD-1. En relación a lo anterior, se deben tener en cuenta las diferencias entre los sexos con respecto a los componentes de los órganos reproductores. Asimismo, las diferencias en la síntesis, liberación de la acetilcolina, la recaptura de la colina y/o las concentraciones de receptores colinérgicos.

A partir de lo anterior, queda claro que hace falta explorar la participación de estas enzimas en la funcionalidad de dichos órganos, también es necesario estimar las actividades acetilcolinesterasa y butirilcolinesterasa en suero de los diferentes grupos de animales empleados para buscar evidencias respecto del mecanismo implicado.

REFERENCIAS

- ANFINSEN, C.B., SCHERAGA, H.A. (1975). EXPERIMENTAL AND THEORETICAL ASPECTS OF PROTEIN FOLDING. *ADV. PROTEIN CHEM.*, 29, 205-300.
- APOSTOLI, P., BELLINI, A., PORRU, S., BISANTI, L. (2000). THE EFFECT OF LEAD ON MALE FERTILITY AT TIME TO PREGNANCY (TTP STUDY). *AM. IND. MED.*, 38: 310-315.
- AZIZ, N., FEAR, S., TAYLOR, C., KISLAND, C.H., LEWIS-JONES, I. (1998). HUMAN SPERM HEAD MORPHOMETRIC DISTRIBUTION AND ITS INFLUENCE ON HUMAN FERTILITY. *FERTIL. STERIL.*, 70, 883-891.
- BORJA-ABURTO V, HERTZ-PICCIOTTO I, ROJAS-LÓPEZ M, FARIAS P, RÍOS C, BLANCO J. (1999). BLOOD LEAD LEVELS MEASURED PROSPECTIVELY AND RISK OF SPONTANEOUS ABORTION. *AM. J. EPIDEMIOL.*, 150, 590-597.
- BRADFORD, M.M. (1976). A RAPID AND SENSITIVE METHOD FOR THE QUANTIFICATION OF MICROGRAM QUANTITIES OF PROTEIN UTILIZING THE PRINCIPLE OF PROTEIN-DYE BINDING. *ANAL. BIOCHEM.*, 72, 218-254.
- CARAVANOS, J., QOWLING, R., TÉLLEZ-ROJO, M.M., CANTORAL, A., KOBROSLY, R., ESTRADA, D., ORJUELA, M., GUALTERO, S., ERICSON, B., RIVERA, A., FULLER, R. (2014). NIVELES DE PLOMO EN SANGRE EN MÉXICO Y SU IMPLICACIÓN PARA LA CARGA PEDIÁTRICA DE LA ENFERMEDAD. *ANN. GLOBAL HEALTH.* 80, e1-e11.
- CHISOLM, J.J. (1965). CHRONIC LEAD INTOXICATION IN CHILDREN. *DEV. MED. CHILD. NEUROL.*, 7, 529-536.
- COLEMAN, J.E. (1992). ZINC PROTEINS: ENZYMES, STORAGE PROTEINS TRANSCRIPTION FACTORS, AND REPLICATION PROTEINS. *ANNU. REV. BIOCHEM.*, 61, 897-946.
- ELLMAN, G.L., COURTNEY, K.D., ANDRES, V.JR., FEATHER-STONE, R.M. (1961). A NEW AND RAPID COLORIMETRIC DETERMINATION OF ACETYLCHOLINESTERASE ACTIVITY. *BIOCHEM. PHARMACOL.*, 7, 88-95.
- FOSTER, W.G. (1992). REPRODUCTIVE TOXICITY OF CHRONIC LEAD EXPOSURE IN THE FEMALE CYNOMOLGUS MONKEY. *REPROD. TOXICOL.* 6: 123-131.
- GÓMEZ, J.L., MORAL-NARANJO, M.T., CAMPOY, F.J. Y VIDAL, C.J. (1999). CHARACTERIZATION OF ACETYLCHOLINESTERASE AND BUTYRYLCHOLINESTERASE FORMS IN NORMAL AND DYSTROPHIC LAMA2DY MOUSE HEART. *J. NEUROSCI. RES.*, 56, 295-306.
- GONZÁLEZ-COSSÍO, T., PETERSON, K.E., SANÍN, L.H., FISHBEIN, S.E., PALAZUELOS, E., ARO A., HERNÁNDEZ-ÁVILA, M., HU, H. (1997). DECREASE IN BIRTH WEIGHT IN RELATION TO MATERNAL BONE LEAD BURDEN. *PEDIATRICS.* 100, 856-862.
- ARP, A PEPTIDE DERIVED FROM THE STRESS-ASSOCIATED ACETYLCHOLINESTERASE VARIANT, HAS HEMATOPOIETIC GROWTH PROMOTING ACTIVITIES.
- GRISARU D, DEUTSCH V, SHAPIRA M, PICK M, STERNFELD M, MELAMED-BOOK N, KAUFER D, GALYAM

- N, GAIT MJ, OWEN D, LESSING JB, ELDOR A, SOREQ H. (2001). INTERACTIONS OF ACETYLCHOLINESTERASE WITH CAVEOLIN-1 AND SUBSEQUENTLY WITH CYTOCHROME C ARE REQUIRED FOR APOPTOSOME FORMATION. *CARCINOGENESIS*, 29, 729-737.
- MOLE MED. 2001 FEB;7(2):93-105.
- Hsu, P.C., Hsu, C.C., Liu, M.Y., Chen, L.Y., Guo, Y.L. (1998). LEAD-INDUCED CHANGES IN SPERMATOZOA FUNCTION AND METABOLISM. *J. TOXICOL. ENVIRON. HEALTH*. 55, 45-64.
- HU, P., WANG, M., CHEN, W.H., LIU, J., CHEN, L., YIN, S.T., YONG, W., CHEN, J.T., WANG, H.L., KOSNETT, M.J., WEDEEN, R.P., ROTHENBERG, S.J., HIPKINS, K.L., MATERNA, B.L. (2007). RECOMMENDATIONS FOR MEDICAL MANAGEMENT OF ADULT LEAD EXPOSURE. *ENVIRON. HEALTH PERSPECT.*, 115, 463-471.
- LAITUSIS, A.L., BROSTROM, M.A., BROSTROM, C.O. (1999). THE DYNAMIC ROLE OF GRP78/BiP IN THE COORDINATION OF mRNA TRANSLATION WITH PROTEIN PROCESSING. *J. BIOL. CHEM.*, 274: 486-493.
- LAUGHLIN, N.K., BOWMAN, R.E., FRANKS, P.A., DIERSCHKE, D.J. (1987). ALTERED MENSTRUAL CYCLES IN RHESUS MONKEYS INDUCED BY LEAD. *FUNDAM. APPL. TOXICOL.*, 9, 722-729.
- LEUSSIS, M.P., BOND, T.L., HAWKEN, C.M., BROWN, R.E. (2008). ATTENUATION OF MATERNAL BEHAVIOR IN VIRGIN CD-1 MICE BY METHYLPHENIDATE HYDROCHLORIDE. *PHYSIOL. BEHAV.*, 95, 385-399.
- MENESES-GONZÁLEZ, F., RICHARDSON, V., LINO-GONZÁLEZ, M., VIDAL, M.T. (2003). NIVELES DE PLOMO EN SANGRE Y FACTORES DE EXPOSICIÓN EN NIÑOS DEL ESTADO DE MORELOS, MÉXICO. *SALUD PÚBLICA (MÉX.)*, 45, 203-208.
- NORO, Y., TOMIZAWA, M., ITO, Y., SUZUKI, H., ABE, K., KAMIJIMA, M. (2013). ANTICHOLINESTERASE INSECTICIDE ACTION AT THE MURINE MALE REPRODUCTIVE SYSTEM. *BIOORG. MED. CHEM. LETT.*, 23, 5434-5436.
- PAGLIUCA, A., MUFTI, G.J., BALDWIN, D., LESTAS, A.N., WALLIS, R.M., BELLINGHAM, A.J. (1990). LEAD-POISONING: CLINICAL, BIOCHEMICAL, AND HEMATOLOGICAL ASPECTS OF A RECENT OUTBREAK. *J. CLIN. PATH.*, 43, 277-281.
- PARK, S.E., JEONG, S.H., YEE, S.B., KIM, T.H., SOUNG, Y.H., HA, N.C., KIM, N.D., PARK, J.Y., BAE, H.R., PARK, B.S., LEE, H.J., YOO, Y.H. (2008). INTERACTIONS OF ACETYLCHOLINESTERASE WITH CAVEOLIN-1 AND SUBSEQUENTLY WITH CYTOCHROME C ARE REQUIRED FOR APOPTOSOME FORMATION. *CARCINOGENESIS*, 29, 729-737.
- PÉREZ-AGUILAR, A., VIDAL, C.J., PALOMEC, G., GARCÍA-DOLORES, F., GUTIÉRREZ-RUIZ, M.C., BUCIO, L., GÓMEZ-OLIVARES, J.L., GÓMEZ-QUIROZ, L.E. (2015). ACETYLCHOLINESTERASE IS ASSOCIATED WITH A DECREASE IN CELL PROLIFERATION OF HEPATOCELLULAR CARCINOMA CELLS. *BIOCHIM. BIOPHYS. ACTA*, 1852, 1380-1387
- POMA, P.A. (2008). INTOXICACIÓN POR PLOMO EN HUMANOS. *AN. FAC. MED.*, 69, 120-126.
- QIAN, Y.C., ZHENG, Y., RAMOS, K.S., TIFFANY-CASTIGLIONI, E. (2005). GRP78 COMPARTMENTALIZED REDISTRIBUTION IN Pb-TREATED GLIA: ROLE OF GRP78 IN LEAD-INDUCED OXIDATIVE STRESS. *NEUROTOXICOLOGY* 26: 267-75
- RICHETTI, S.K., ROSEMBERG, D.B., VENTURA-LIMA, J., MONSERRAT, J.M., BOOG, M.R., BONAN, C.D. (2011). ACETYLCHOLINESTERASE ACTIVITY AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF ZEBRAFISH BRAIN IS ALTERED BY HEAVY METAL EXPOSURE. *NEUROTOXICOLOGY*. 32, 116-122.
- RICO, E.P., ROSEMBERG, D.B., SENGER, M.R., ARIZI, M., DE B., BERNARDI, G.F., DIAS, R.D. (2006). METHANOL ALTERS ECTO-NUCLEOTIDASES AND ACETYLCHOLINESTERASE IN ZEBRAFISH BRAIN. *NEUROTOXICOL. TERATOL.*, 28, 489-496.
- ROSENMAN, K.D., SIMS, A., LUO, Z., GARDINER, J. (2003). OCCURRENCE OF LEAD-RELATED SYMPTOMS BELOW THE CURRENT OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ACT ALLOWABLE BLOOD LEAD LEVELS. *J. OCCUP. ENVIRON. MED.*, 45, 546-555.
- ROTHENBERG, S.J., SCHNAAS, L., PERRONI, E., HERNÁNDEZ, R.M., MARTÍNEZ, S., HERNÁNDEZ, C. (1999). PRE AND POSTNATAL LEAD EFFECT ON HEAD CIRCUMFERENCE: A CASE FOR CRITICAL PERIODS. *NEUROTOXICOL. TERATOL.*, 21, 1-11.
- SALAME-MÉNDEZ, A., ANDRADE-HERRERA, M., GÓMEZ-OLIVARES, J.L., RENDÓN VON OSTEN, J., CASTRO-CAMPILLO, A., RAMÍREZ-PULIDO, J.,

- GARCÍA-SUÁREZ, M.D., SERRANO, H. (2011). CONTAMINACIÓN Y ECOTOXICOLOGÍA. CIENCIA EN LA FRONTERA. 9, 7-19.
- SÁNCHEZ-ALARCÓN, J., GÓMEZ-OLIVARES, J.L., WALISZEWSKI, S.M., MONTIEL-GONZÁLEZ, J.M.R., VALENCIA-QUINTANA, R. (2012). ELABORACIÓN DE UN LISTADO PRELIMINAR DE SITIOS POTENCIALMENTE CONTAMINADOS CON PLOMO (Pb) EN EL ESTADO DE TLAXCALA. RA XIMHAI. 8, 165-174.
- SCHNEITZER, L., OSBORN, H.H., BIERMAN, A., MEZEY, A., KAUL, B. (1990). LEAD POISONING IN ADULTS FROM RENOVATION OF AN OLDER HOME. ANN. EMERG. MED., 19, 415-420.
- SHARMA, S.K., GOLOUBINOFF, P., CHRISTEN, P. (2008). HEAVY METALS ARE POTENT INHIBITORS OF PROTEIN FOLDING. BIOCHEM. BIOPHYS. RES. COMMUN., 372, 341-345.
- SOKOL, R.Z. (1990). THE EFFECT OF DURATION OF EXPOSURE ON THE EXPRESSION OF LEAD TOXICITY ON THE MALE REPRODUCTIVE AXIS. J. ANDROL., 11, 521- 526.
- SOREQ, H., SAKUT, H. (1993). HUMAN CHOLINESTERASES AND ANTICHOLINESTERASES. LONDON. ACADEMIC PRESS. 314 pp. 1993.
- STEFANOV, I.D. (2008). THE MOLECULAR MECHANISM OF LEAD (Pb(II)) TOXICITY IN SACCHAROMYCES CEREVISIAE. DOCTORAL THESIS. NORTHWESTERN UNIVERSITY. ILLINOIS. USA. 136 pp.
- TAMÁS, M.J., SHERMA, S.K., IBSTEDT, S., JACOBSON, T., CHRISTEN, P. (2014). HEAVY METALS AND METALLOIDS AS A CAUSE FOR PROTEIN MISFOLDING AND AGGREGATION. BIOMOLECULES. 4, 252-267.
- TOSCANO, C.D., GUILARTE, T.R. (2005). LEAD NEUROTOXICITY: FROM EXPOSURE TO MOLECULAR EFFECTS. BRAIN RES. REV., 49, 529-554.
- VILLEDA-HERNÁNDEZ, J., MÉNDEZ-ARMENTA, M., BARROSO-MOGUEL, R., TREJO-SOLIS, M.C., WIDE, M., NILSSON, B.O. (1979). INTERFERENCE OF LEAD WITH IMPLANTATION IN THE MOUSE: A STUDY OF THE SURFACE ULTRASTRUCTURE OF BLASTOCYSTS AND ENDOMETRIUM. TERATOLOGY. 20, 101-113.
- XUEZHI, J., YOUXIN, L., YILAN, W. (1992). STUDIES OF LEAD EXPOSURE ON REPRODUCTIVE SYSTEM: A REVIEW OF WORK IN CHINA. BIOMED. ENVIRON. SCI., 5, 266-275.
- ZAWIA, N.H., CRUMPTON, T., BRYDIE, M., REDDY, G.R., RAZMIAFSHARI, M. (2000). DISRUPTION OF THE ZINC FINGER DOMAIN: A COMMON TARGET THAT UNDERLIES MANY OF THE EFFECTS OF LEAD. NEUROTOXICOLOGY. 21, 1069-1080.

FIGURAS

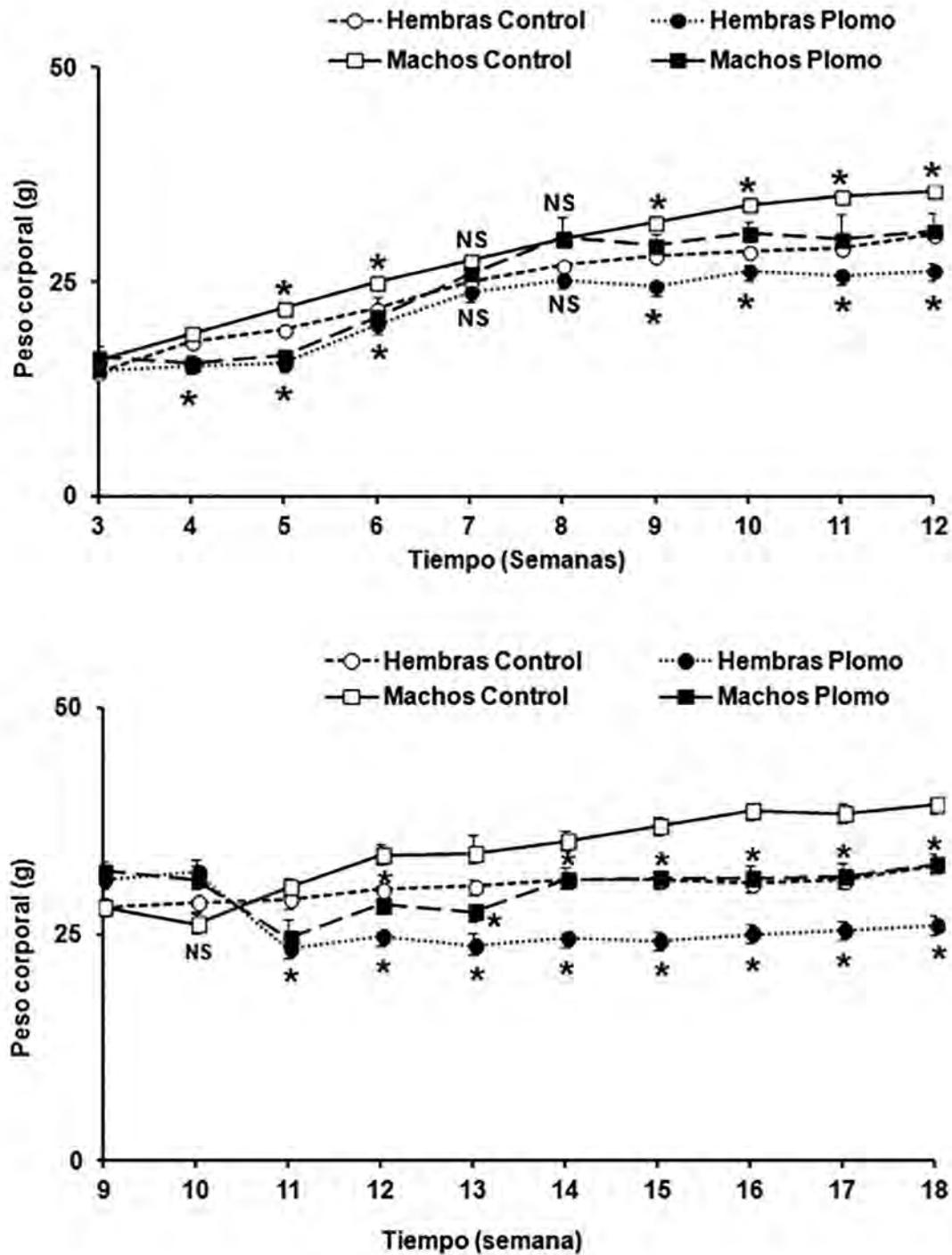


Figura 1. Efecto de la exposición al plomo sobre el patrón de crecimiento en ratones CD-1 juveniles y adultos. Los ratones juveniles iniciaron la exposición a partir de la tercera semana de edad postnatal (n= 4-5 por género). Los ratones adultos iniciaron la exposición a partir de la semana 8 (dos meses) (n= 4-5 por género). *Diferencia significativa a $p < 0.05$ en comparación a los pesos corporales en ratones controles.

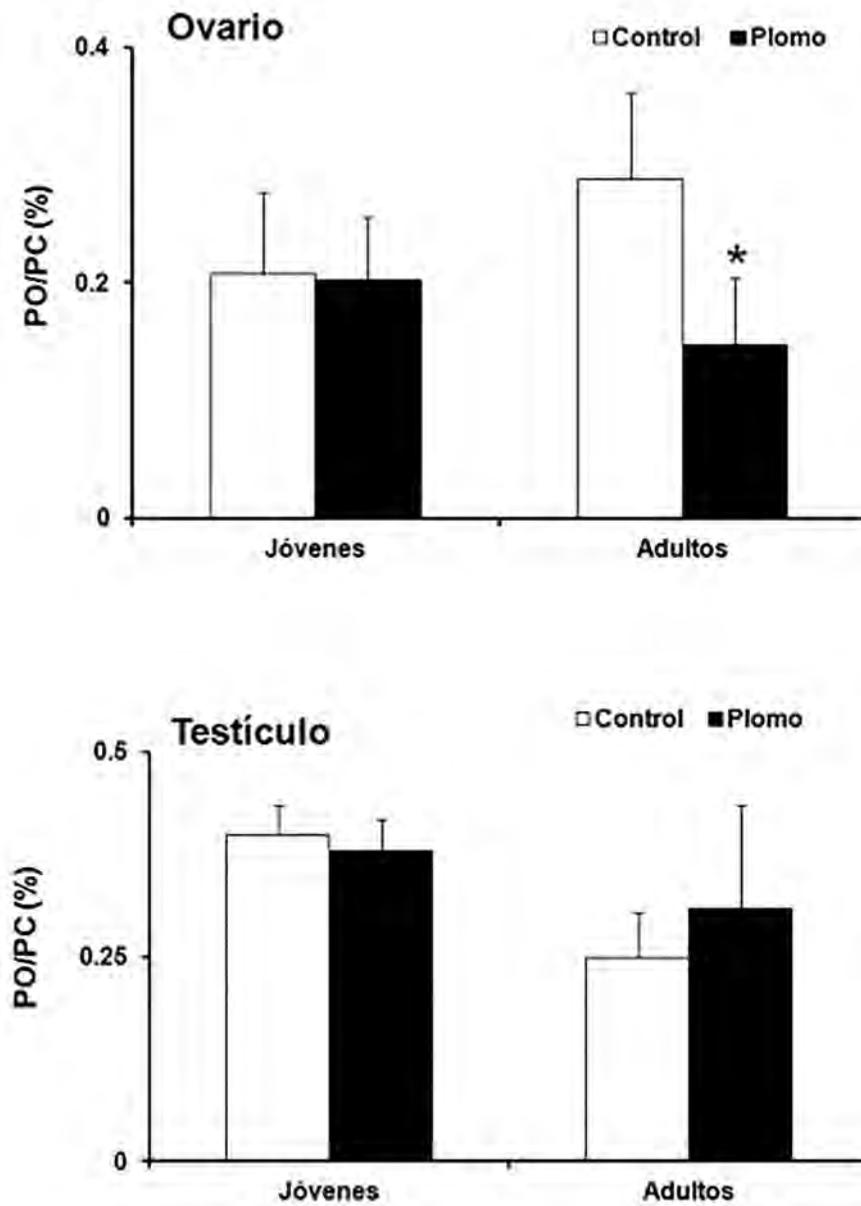
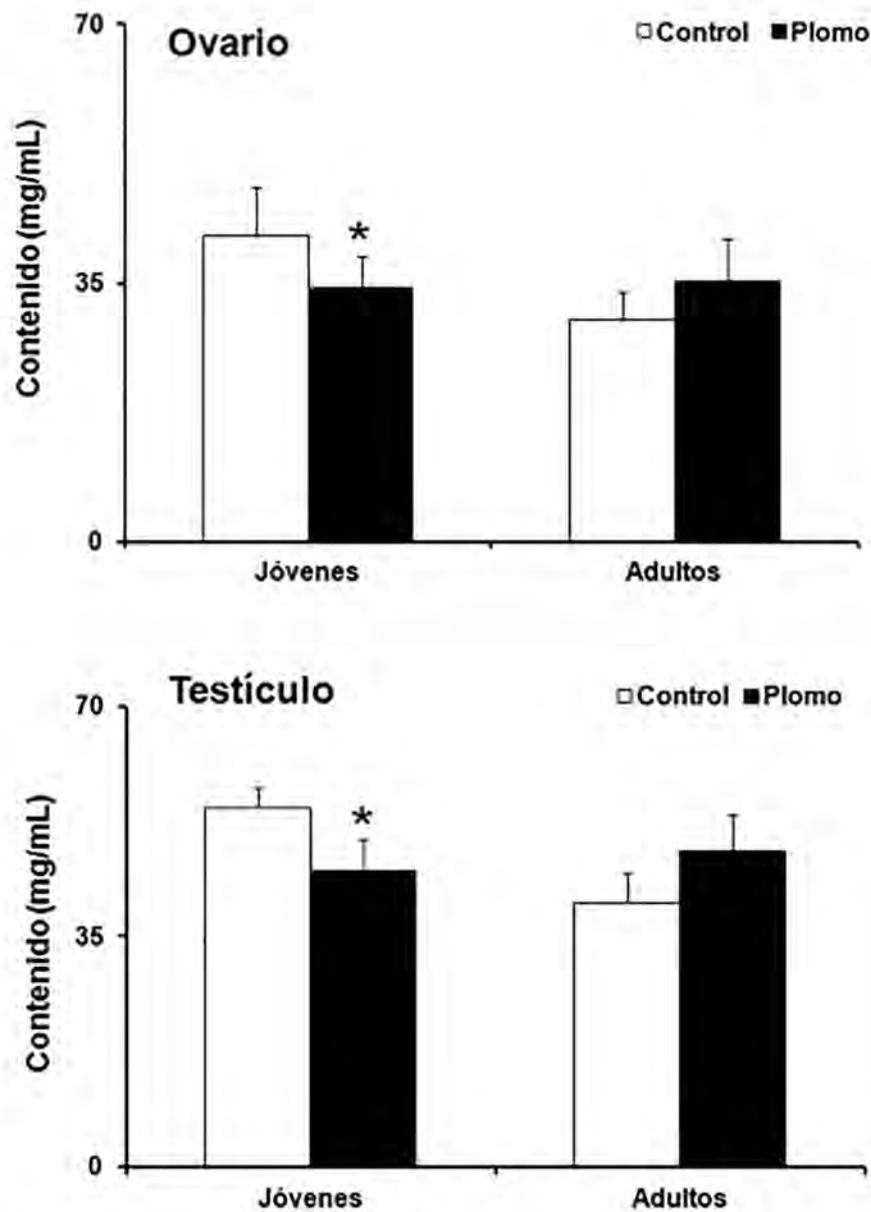


Figura 2. Relación porcentual en el peso de los órganos reproductores de ratones CD-1 juveniles y adultos expuestos al plomo. Ovarios (Figura superior) (n= 4-5 animales por grupo de edad) y Testículos (Figura inferior) (n= 4-5 animales por grupo de edad). *Diferencia significativa a $p < 0.05$ entre ratones expuestos al plomo y ratones controles.



[†] **Figura 3.** La exposición al plomo en ratones CD-1 modificó el contenido de proteínas en órganos reproductores. Promedio y desviación estándar de la determinación por cuadruplicado de cada muestra (n= 4-5 animales por grupo). *Diferencia significativa a $p < 0.05$ entre ratones expuestos al plomo y ratones controles.

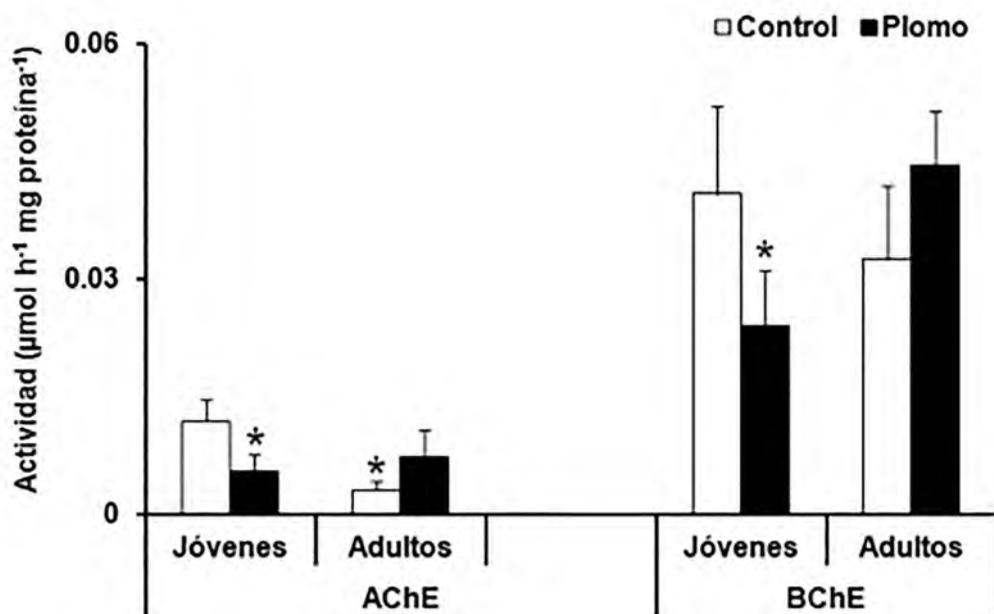


Figura 4. Efecto de la exposición al plomo en ratones CD-1 sobre la actividad específica de las colinesterasas en ovario. Valores promedio y desviación estándar de 4-5 muestras por grupo de animales.
*Diferencia significativa a $p < 0.05$ entre ratones expuestos al plomo y ratones controles.

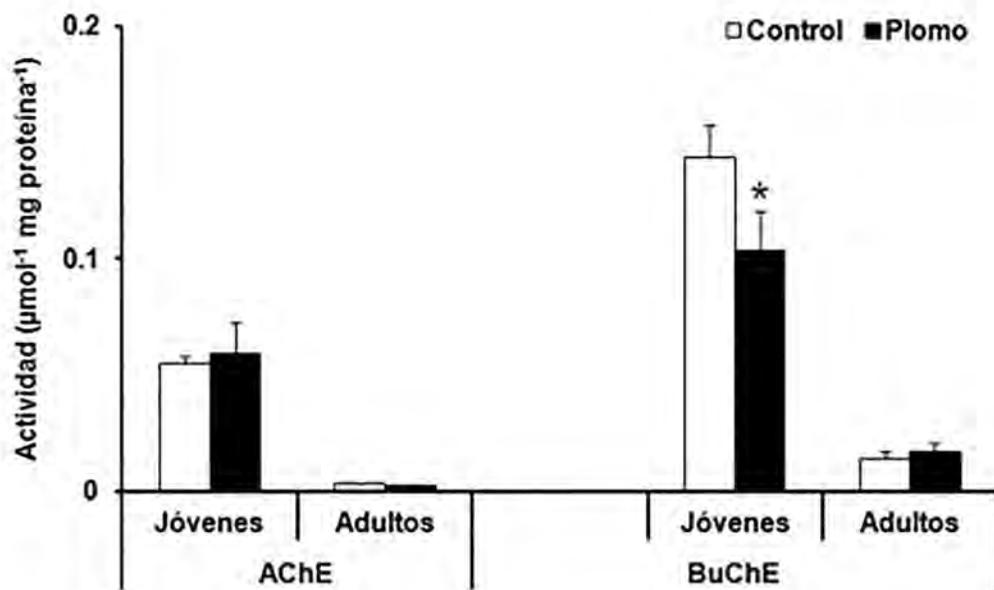


Figura 5. Efecto de la exposición al plomo en ratones CD-1 sobre la actividad específica de las colinesterasas en testículo. Valores promedio y desviación estándar de 4-5 muestras por grupo de animales.
*Diferencia significativa a $p < 0.05$ entre ratones expuestos al plomo y ratones controles.

RECIBIDO: 26 AGOSTO DE 2015
ACEPTADO: 13 OCTUBRE DE 2015

INVESTIGACIÓN

Calidad del aire y su relación con la percepción ambiental de adolescentes en Villahermosa, Tabasco

Gabriela Sastre-de Dios¹, Sergio Ramos-Herrera²,
Elizabeth Magaña-Villegas^{2,*} y Jesús Manuel Carrera-Velúeta²

RESUMEN

El objetivo en este estudio fue evaluar la calidad del aire y la percepción sobre la contaminación atmosférica en adolescentes de nivel medio superior en Villahermosa, Tabasco. La calidad del aire se evaluó con información de partículas y ozono, correspondiente al primer semestre de 2013. Para evaluar la percepción, se diseñó y aplicó una encuesta a los estudiantes, se analizó la independencia entre variables y el grado de asociación entre respuestas. Como hallazgos más significativos se encontró que generalmente la calidad del aire fue mala. La mayoría de los adolescentes relega a segundo término la contaminación del aire, sin embargo, consideraron que su salud es afectada por la misma. Esta percepción fue mayor en las mujeres.

Palabras clave: *percepción ambiental, calidad del aire, contaminación del aire.*

¹ Centro de Bachillerato Tecnológico Grijalva

² División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

* Autor para correspondencia: Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5 S/N, Entronque a Bosques de Saloya, CP. 86150, e-mail: elizabeth.magana@ujat.mx

INTRODUCCIÓN

La percepción ambiental está conformada por aquellos conocimientos, valores, aptitudes y actitudes, que cada individuo forma a partir de su experiencia directa y la interacción social, en este caso, mediante la escuela, medios masivos de comunicación, grupos de interés, etc. (Albanesi y Lago, 2011). En este sentido, la relación existente entre el ser humano y su ambiente es en gran parte el reflejo de sus percepciones ambientales, las cuales son entendidas como la forma en que cada individuo aprecia y valora su entorno, e influyen de manera importante en la toma de decisiones del ser humano sobre el ambiente que lo rodea, es decir, las percepciones ambientales desde la psicología ambiental, considera que las sensaciones —colores, sonidos, texturas, olores y gustos— son el material crudo de la experiencia humana y las percepciones son el producto manufacturado de la misma (Fernández, 2008).

Estudios realizados desde el enfoque sociocultural señalan que la interpretación de la contaminación del aire en la vida diaria depende de estímulos que se captan a través de los sentidos y el cuerpo (Fernández, 2008; Catalán *et al.*, 2009). A diario los seres humanos hacemos contacto con el medio ambiente sin prestarle atención a los problemas que se generan en el mismo, contribuyendo en gran medida a ellos, tales como el incremento de las emisiones vehiculares a la atmósfera, la quema de pastizales, el mal manejo de los residuos, por mencionar algunos.

De acuerdo con la literatura las investigaciones sobre la percepción pública de la contaminación del aire pueden agruparse desde un enfoque psicológico orientado a medir las actitudes y procesos cognitivos relacionados con la contaminación del aire, y los estudios socioculturales que retoman los factores sociales y culturales, como elementos decisivos en la configuración e interpretación del riesgo ambiental. Los estudios realizados en la década de los años sesenta y setenta giraron alrededor de cuatro áreas: el nivel de conciencia y preocupa-

ción entre individuos y grupos en relación con la contaminación del aire, el acuerdo entre expertos y no expertos, la concordancia entre mediciones físicas de la calidad del aire y la percepción pública de las mismas, la percepción pública de la contaminación en relación con las características de los observadores, mientras que los estudios realizados a partir de la década de los noventa, comenzaron la discusión teórica y la apertura metodológica en el estudio de la percepción pública de la contaminación del aire y sus riesgos para la salud (Catalán, 2006).

En América Latina las investigaciones sobre este tema han sido muy limitadas, a pesar de que en la región se ubican mega-ciudades con graves problemas de contaminación del aire como la Ciudad de México, São Paulo y Río de Janeiro, en donde más de 100 millones de personas están expuestas a niveles de contaminantes del aire en exteriores que exceden los valores recomendados, según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2014). En México se han realizado algunos estudios por parte del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias y otro conducido por las agencias gubernamentales encargadas del control de la contaminación del aire, por mencionar algunos. Catalán, Rojas y Pérez (2001) afirman que los estudios sociales que se refieren a la contaminación del aire son escasos, algunos de ellos hacen referencia al conocimiento y a las prácticas de salud ambiental, y a la percepción social sobre la contaminación y su relación con la manifestación de síntomas y enfermedades respiratorias.

Actualmente la contaminación del aire representa un importante problema medioambiental que impacta a la salud de la población mundial, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico. El deterioro de la calidad del aire es notable en todo el mundo debido principalmente al crecimiento urbano desenfrenado y otros problemas persistentes asociados, como los congestionamientos de tráfico (Molina y Molina, 2005). En octubre de 2013, la Agencia Internacional de Investigación

sobre el cáncer anunció que existe evidencia suficiente para establecer una relación causal entre la exposición al material particulado y el cáncer en los humanos. Dichos efectos se presentan a niveles que antes eran considerados como seguros (NOM-025-SSA1, 2014).

Según estimaciones de 2012, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3.7 millones de defunciones prematuras, esta mortalidad se debe a la exposición a pequeñas partículas de 10 micrones de diámetro (PM10) o menos, que pueden causar cardiopatías, neumopatías y cáncer. Un 88% de esas defunciones prematuras se producen en países de ingresos bajos y medianos, y las mayores tasas de morbilidad se registran en las regiones del Pacífico Occidental y Asia Sudoriental según la OMS. Además de la contaminación del aire exterior, el humo en interiores representa un grave riesgo para la salud de unos 3000 millones de personas que cocinan y calientan sus hogares con combustibles de biomasa y carbón. Unos 4.3 millones de defunciones prematuras ocurridas en 2012 eran atribuibles a la contaminación del aire en los hogares. Casi todas se produjeron en países de ingresos bajos y medianos (OMS, 2014).

La disminución de la contaminación del aire reduce las emisiones de CO₂ y de contaminantes de corta vida tales como las partículas de carbono negro y el metano, y de ese modo contribuye a mitigar el cambio climático a corto y largo plazo (OMS, 2014).

En México, durante los últimos años, especialmente a partir de principios del decenio de 1990, el aumento de la demanda de transportes y del tránsito vehicular ha causado mayores conglomeraciones vehiculares, demoras, accidentes y problemas ambientales ocasionando que la población invierta cada vez mayor tiempo para transportarse de un lugar a otro, equivalente a una exposición directa de niveles dañinos de contaminantes, siendo crítica en algunas zonas donde convergen actividades comerciales, de servicio, educativas, recreativas,

exponiendo a las personas que asisten a estos sitios a enfermedades respiratorias, malestares como dolores de cabeza e irritación en los ojos, stress, entre otras (Lacy *et al.*, 2000).

En la ciudad de Villahermosa, Tabasco se han registrado contingencias atmosféricas excediendo los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad oficial mexicana. Por citar algunos episodios: como producto de una intensa sequía en mayo de 1998, el monitoreo de la calidad del aire en diferentes puntos de la ciudad del 2 al 12 de mayo mostró que el día 9 la concentración promedio de 24 horas de PM10 fue de 306 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en dos de los 10 días que abarcó el monitoreo se midieron concentraciones promedios de 24 horas de PST en el rango de 850 a 1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cuando la norma establecía 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mendoza, 2002). En el periodo de 2001 a 2006, Villahermosa registró los niveles más altos de partículas PM10, en mayo de 2001 se alcanzó un nivel de 127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; en abril de 2002 de 134 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; para el 2003 el máximo registrado en mayo fue 265 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en junio del 2004 de 132 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; en julio de 2005 el máximo fue 156 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en mayo del 2006 fue 104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ramos *et al.*, 2010). Sin embargo, la contaminación del aire no se puede observar a simple vista, excepto en ocasiones donde los niveles de los gases contaminantes y partículas principalmente llegan a un exceso en el cual forman niebla o neblina conocida como “smog”. Ante esta situación, se desprende la necesidad de conocer la forma en que la población percibe y entiende su ambiente, la valoración que hace del mismo y las decisiones que determinen su comportamiento, ya que como se menciona en la literatura, la percepción determina juicios, decisiones y conductas, que conducen a acciones con consecuencias reales (Fernández, 2008).

En este estudio se evaluó la calidad del aire, al mismo tiempo, se utilizó una encuesta para indagar la percepción sobre la contaminación atmosférica que tenían los estudiantes de dos escuelas de nivel medio superior de la ciudad de Villahermosa, Tabasco. En este estudio exploratorio se buscó

probar la hipótesis de que la interpretación de los estudiantes sobre la calidad del aire y su relación con efectos adversos a la salud, coincide con la realidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un estudio exploratorio con estudiantes de nivel medio superior de dos instituciones, una privada y otra pública, de la ciudad de Villahermosa, Tabasco. La selección se realizó en base a criterios sobre la factibilidad para cumplir con los objetivos de la investigación: la cooperación por parte de las autoridades educativas, la cercanía entre los planteles, la ubicación en o cerca de una zona conflictiva de la ciudad, es decir, de mayor concentración de contaminantes o mayor carga vehicular, densidad poblacional y elementos de la zona (hospitales, áreas recreativas, centros comerciales, etcétera).

Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México. Villahermosa pertenece al municipio de Centro cuya población es de 640,359 habitantes. Se ubica entre los paralelos 17°42' y 18°21' de latitud norte y entre los meridianos 92°34' y 93°16' de longitud oeste; su altitud es en promedio de 20 msnm, tiene un clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano y una precipitación media anual de 1500 a 3000 mm (INEGI, 2015). De la ciudad de Villahermosa se seleccionaron dos escuelas de nivel medio superior: el Colegio de Bachilleres de Tabasco Plantel 29 (COBATAB 29), que pertenece al sistema de educación pública, y el Colegio Americano de Tabasco (CAT), un colegio particular (Figura 1). Los planteles educativos se encuentran ubicados entre las avenidas paseo Usumacinta y prolongación de 27 de febrero, dos avenidas principales y de mucha carga vehicular, muy cerca del periférico de la ciudad.

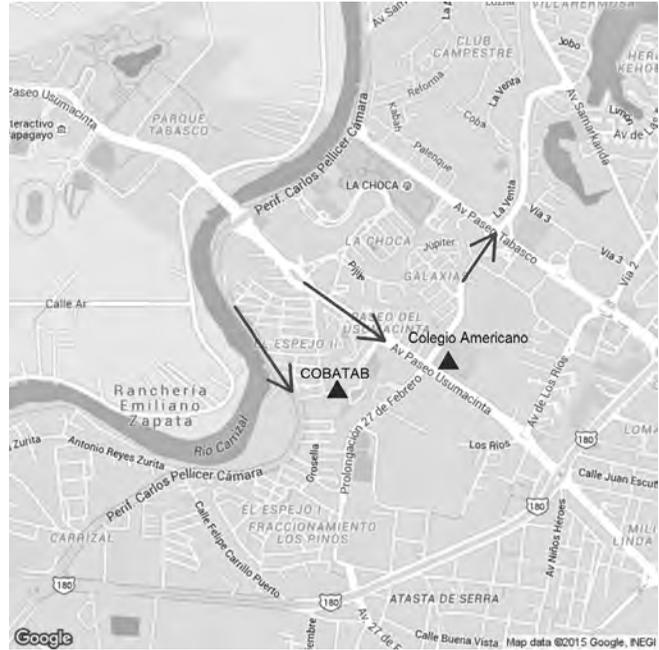


Figura 1. Croquis de la ubicación de los dos planteles educativos y las principales avenidas colindantes en la ciudad de Villahermosa, Tabasco.

Instrumento de evaluación y recopilación de datos ambientales

Se recopilaron datos de concentraciones horarias de los contaminantes criterio PM10 y ozono (O3) correspondientes al periodo del 17 de enero al 20 de junio de 2013 de la estación de monitoreo Instituto Tecnológico de Villahermosa (ITVH) de la ciudad de Villahermosa. El ITVH pertenece a la Red de Monitoreo Atmosférico de la ciudad, que administra la Secretaría de Recursos Naturales y Protección al Ambiente (Sernapam) del gobierno del estado de Tabasco. La calidad del aire se evaluó con las normas de referencia: NOM-020-SSA1-2014 que establece el valor límite permisible para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente y criterios para su evaluación, y NOM-025-SSA1-2014 que establece los valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Para ello, se calcularon los promedios móviles correspondientes a cada hora para la obtención de la concentración diaria de acuerdo a lo establecido en el protocolo de ma-

nejo de datos de la calidad del aire (INECC, 2010).

Se diseñó y aplicó una encuesta sobre la contaminación del aire a los estudiantes que se encontraban matriculados en el cuarto semestre del periodo escolar enero-junio de 2013 de los dos planteles educativos seleccionados. La encuesta se estructuró en dos secciones: una de datos generales (como edad, sexo, plantel) y la sección de preguntas sobre la percepción de la contaminación. Principalmente se emplearon preguntas cerradas con dos o más opciones de respuesta y algunas preguntas abiertas. Las preguntas se distribuyeron en cuatro grupos para su análisis: percepción de la calidad del aire, percepción del riesgo a la salud, conocimientos sobre la contaminación del aire y actitud ante la problemática.

Análisis de la información

Se realizó un análisis exploratorio de las concentraciones de PM10 y O3 con el objetivo de evaluar la calidad del aire de la ciudad. Todo el análisis estadístico se realizó con el software R (Horton y Kleinman, 2011). La información obtenida de las encuestas se concentró en una base de datos en Excel, cuyos campos en términos generales fueron: un número de identificación de la encuesta, un número de identificación de la escuela y un campo por cada una de las preguntas. Se realizó un análisis descriptivo de los datos para obtener la frecuencia de las variables analizadas y se aplicó la prueba Ji-cuadrada (χ^2) de la homogeneidad e independencia entre variables con el objeto de determinar si estadísticamente existe evidencia para creer que lo que opinan los estudiantes no depende del sexo ni varía de una escuela a otra (hipótesis nula) contra la alternativa de que sí hay dependencia y variación. Esta prueba es adecuada para datos categóricos que consisten en el conteo de frecuencias para diferentes categorías. El estadístico de la prueba χ^2 se calculó según la ecuación (1) donde O_{ij} y E_{ij} representan el valor observado y esperado en la celda ij de la tabla de contingencias calculada para las variables en estudio cuya respuesta fue

categorizada por sexo o escuela. El estadístico de prueba tiene una distribución Ji-cuadrada con $(k-1)(m-1)$ grados de libertad, donde k y m representan el número de renglones y columnas en la tabla de contingencia, respectivamente (Navidi, 2006).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (1)$$

En los casos en los que hubo dependencia con relación al sexo, se midió el grado de asociación entre respuestas con el coeficiente V de Kramer (2), donde n es el total de casos y L es la columna o renglón con casos totales más pequeños de los dos (Pérez, 2008).

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{n(L-1)}} \quad (2)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo la calidad del aire durante el primer semestre de 2013 para la ciudad de Villahermosa. Además, se obtuvo información de 185 estudiantes con edades entre 16 y 19 años para el mismo periodo.

Calidad del Aire durante el primer semestre de 2013 en Villahermosa, Tabasco

Históricamente, de acuerdo con los boletines informativos que emite la Sernapam, los contaminantes que con mayor frecuencia degradan la calidad del aire en la ciudad de Villahermosa son PM10 y O3. La figura 2 muestra que la concentración diaria de PM10 excedió el límite máximo permitido (75 mg/m³) en los meses abril, mayo y junio. La figura 3 también muestra que el O3 excedió el límite máximo permitido (0.070 ppm) en los meses de marzo, abril, mayo y junio.

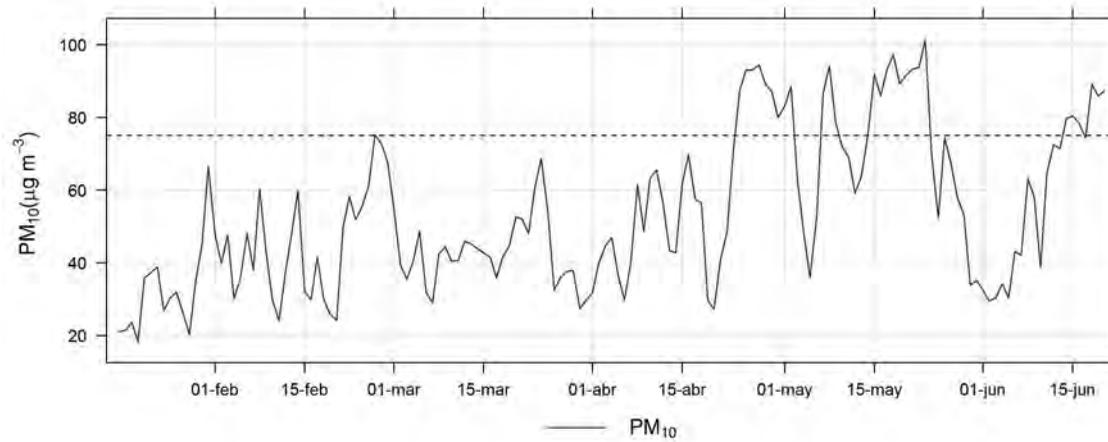


Figura 2. Concentración diaria de PM10 en la estación ITVH en 2013

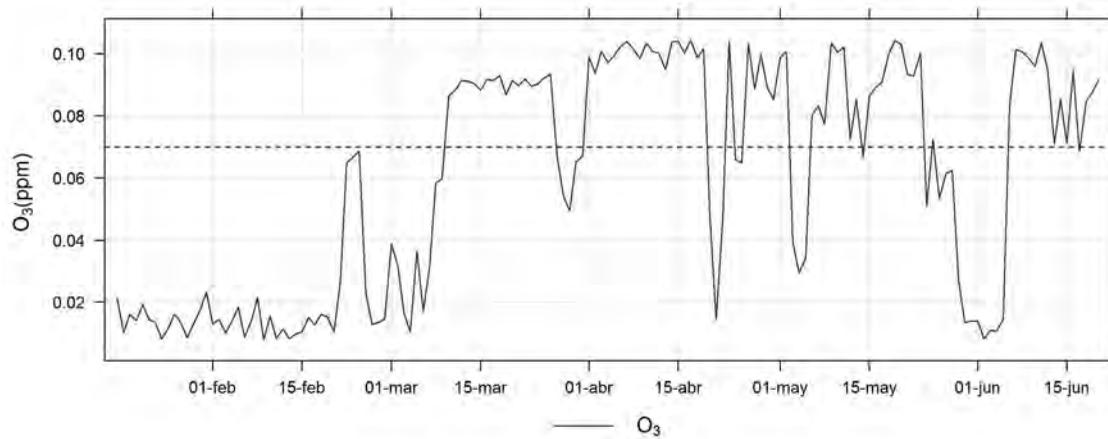


Figura 3. Concentración diaria de ozono en la estación ITVH en 2013

Tabla 1. Distribución de los estudiantes por sexo e institución

Factor	Categoría	Colegio Americano	COBATAB	Total
Sexo	Masculino	31	40	71
	Femenino	40	43	83
	NI*	19	12	31
Edad	16 -19	90	95	185
	No	70	84	154
Curso de educación Ambiental	Si	20	9	29
	NI*	0	2	2

*NI: no indicado

Por otro lado, durante el periodo de estudio se presentó en un 26% de ocasiones incrementos superiores a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , incluso en los meses de febrero y marzo en los cuales la calidad del aire fue buena. Los incrementos bruscos tienen efectos adversos a la salud. Existen estudios que estimaron que un incremento del 3% en la mortalidad diaria, está asociada con cánceres en el sistema pulmonar, por cada incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} aun en condiciones de calidad del aire buena (Rosales *et al.*, 2001; Munguía, y Pérez, 2003; Flores, 2010).

Percepción de la contaminación atmosférica en estudiantes de nivel medio superior

De las 202 encuestas aplicadas a las dos escuelas de nivel medio superior, se eliminaron 17 porque no se contestaron correctamente, contando finalmente con 185 encuestas de trabajo en este análisis. De estas últimas, el 49% fueron contestadas por estudiantes del Colegio Americano y el resto por estudiantes del COBATAB. La tabla 1 muestra la frecuencia asociada a los estudiantes de las dos escuelas por sexo y edad principalmente. De la misma, se puede notar que la mayoría (el 78% en CA y el 88% en COBATAB) no ha recibido un taller de educación ambiental. Adicionalmente, se encontró que, aun en las encuestas de trabajo, algunos estudiantes no indicaron el sexo o si habían llevado antes un taller de educación ambiental.

La Figura 4 muestra los porcentajes que indican la asociación que establecen los estudiantes de la contaminación del aire con una palabra. Del total de entrevistados, el 43% seleccionó la palabra “smog”, el 29% seleccionó la palabra “intoxicación” y el 19% la palabra “enfermedad”. Esta asociación fue diferente entre las instituciones, según la prueba de homogeneidad ($\chi^2=21.3$, valor $p=0.00028$). Por ejemplo, la contaminación significó “smog” para el 28% de los estudiantes del CAT y solo para el 15% de los estudiantes del COBATAB; signifi-

có “intoxicación” para el 13% de los estudiantes del CAT y solo para el 16% de los estudiantes del COBATAB. Adicionalmente, no se rechazó la prueba de independencia de la respuesta con el sexo ($\chi^2 = 7.0$, valor $p = 0.148$). Por ejemplo, la palabra “smog” fue seleccionada por el 18% de las mujeres y por el 20% de los varones; mientras que la palabra “intoxicación” fue seleccionada por el 16% de las mujeres y por el 17% de los varones, porcentajes bastante cercanos.

Por definición, la contaminación del aire se refiere a los contaminantes antropogénicos que producen un efecto perjudicial en el aire ambiente, efectos que pueden alterar la salud de las personas. Por ejemplo, el material particulado puede penetrar hasta el interior de los pulmones con posibles efectos tóxicos, ya que pueden actuar como vehículo de sustancias tóxicas absorbidas o adheridas a su superficie. El ozono es un gas tóxico que a concentraciones elevadas afecta principalmente el aparato respiratorio y a concentraciones mayores a 0.095 ppm puede ocasionar tos, dolor de cabeza, náuseas, dolores en el pecho y acortamiento de la respiración (NO-020-SSA1, 2014). El smog, además de disminuir la visibilidad en muchos casos, aumenta la peligrosidad para la salud de la población que está expuesta (INECC, consultado el marzo de 2015). Es posible que los estudiantes del COBATAB y el CA desconozcan los efectos antes mencionados, pero sí tienen claro que existe una asociación entre la contaminación del aire ambiente y los efectos a la salud.

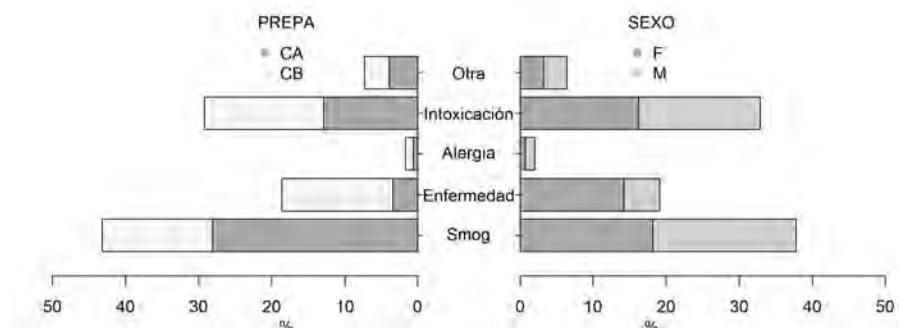


Figura 4. Distribución de la percepción de lo que significa para los estudiantes la contaminación del aire.

La Figura 5 muestra los porcentajes obtenidos sobre la percepción que tienen los estudiantes del grado de contaminación del aire en la ciudad de Villahermosa. Del total de estudiantes entrevistados, el 64% consideró que la contaminación del aire es “alta”, el 29% “media” y solo el 7% “baja”. Con base en la prueba de homogeneidad, se obtuvo que la percepción que tienen los estudiantes del CA y los del COBATAB es diferente ($\chi^2 = 55.4$, valor $p=0$). Por ejemplo, fue considerada “alta” por el 46% de los estudiantes del COBATAB y solo por el 18% de los estudiantes del CA; “media” por el 26% del CA, pero solo por el 4% del COBATAB. De la prueba de independencia se obtuvo que la percepción sobre el grado de contaminación, sí depende del sexo significativamente ($\chi^2 = 7.8$, valor $p=0.012$), pero la asociación es muy baja (V de Kramer, $V = 0.16$). Por ejemplo, el 38% de las mujeres opinó que es “alta” contra el 24% de los varones. El 13% de las mujeres opinó que es “media” contra el 16% de los varones.

De acuerdo con la norma vigente para PM10 y O3, la calidad del aire en Villahermosa (Figura 2 y Figura 3) en la mayor parte del periodo del 17 enero al 20 de junio de 2013, la calidad del aire fue de regular a mal, lo que coincide con la percepción de los estudiantes. Se excedieron los límites correspondientes de estos dos contaminantes (75 mg/m³ y 0.070 ppm) con base en la siguiente distribución: el 30% de los promedios móviles de una hora correspondientes a O3 y el 50% de los promedios móviles de 24 horas de PM10 correspondieron a una calidad del aire regular, mientras que el 29.70% de los promedios móviles de una hora correspondientes al O3 y el 20% de los promedios

móviles de 24 horas de PM10 correspondieron a una calidad del aire mala.

Es importante destacar que en agosto de 2014 las Normas Oficiales Mexicanas para PM10 y O3 fueron actualizadas a fin de garantizar la protección de la salud de la población y bajo el principio precautorio, sustentadas con la información científica disponible. Por lo que, considerando la norma que se encontraba vigente en 2013 para ambos contaminantes (120 mg/m³ y 0.080 ppm), no se presentaron excepciones en el periodo y la calidad del aire en la mayor parte del periodo fue regular. Esta valoración difiere de la percepción de los estudiantes.

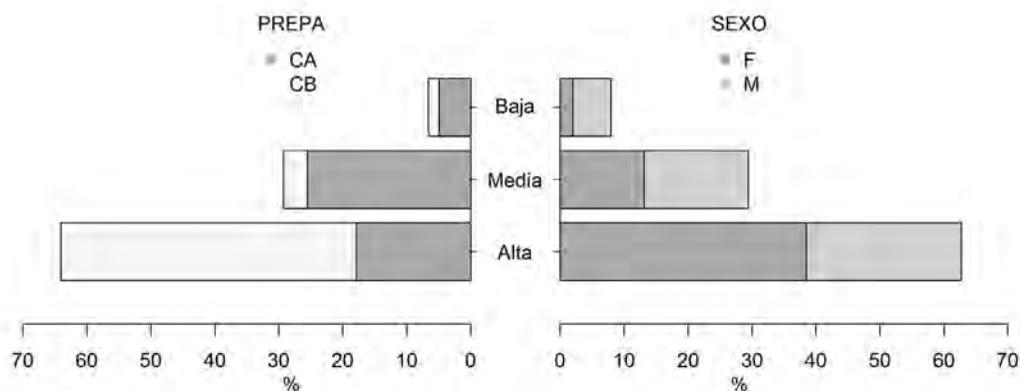


Figura 5. Distribución de la percepción del nivel de la contaminación del aire.

La figura 6 muestra los resultados de la percepción de los estudiantes con respecto a las fuentes principales de contaminación del aire en la ciudad de Villahermosa. Del total de entrevistados, el 35% atribuyó la contaminación del aire a la “quema de basura”, mientras que un 27% lo atribuyó al “humo del escape de los vehículos”. La prueba de homogeneidad no fue decisiva para determinar si la opinión que tienen los estudiantes sobre la fuente principal de la contaminación del aire no es homogénea aun cuando el valor p fue menor a 0.05 ($\chi^2 = 17.4$, valor $p=0.004$). Por ejemplo, el porcentaje de estudiantes del CA y del COBATAB que seleccionaron la quema de basura como fuente principal de contaminación fue parecido en ambas instituciones (17.6% en CA y 17% en COBATAB); lo mismo en

lo que respecta al “humo de escape de vehículos como fuente secundaria” (11% en CA y 14% en COBATAB). Tampoco la percepción dependió del sexo ($\chi^2 = 6.4$ valor $p=0.2649$), pues a excepción de la fuente “quema de basura” los porcentajes de hombres y mujeres que seleccionaron las otras fuentes como responsables de la contaminación del aire no son tan diferentes. Por ejemplo el “humo de escape de los vehículos” fue la segunda fuente principal para 11% de los varones y 14% de las mujeres; las “industrias” fue la tercera fuente seleccionada por el 9% de varones y 8% de mujeres.

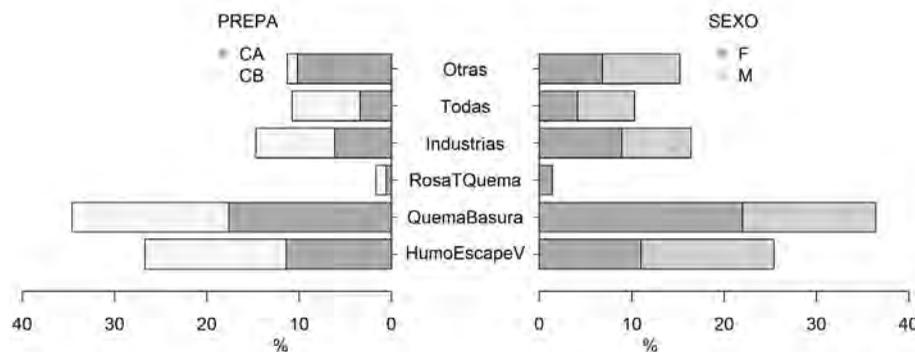
La percepción que los estudiantes tienen con respecto a las fuentes principales de contaminación en la ciudad de Villahermosa, difiere de la realidad. De acuerdo con el inventario de emisiones realizado por la extinta Secretaría de Desarrollo Social y Protección del Medio Ambiente (2003), en el año 2000 las fuentes móviles contribuyeron con el 52% de las emisiones totales a la atmósfera (610 000 ton/año), las fuentes de área, como imprentas, estaciones de servicio, lavanderías, uso de madera para cocinar, etcétera, con el 18% y las fuentes puntuales, que incluyen principalmente la actividad petrolera con el 30%. A la fecha, el parque vehicular

del aire con alguna molestia a la salud. Del total de entrevistados, el 51% asoció con “ardor de ojos”, el 24% con “dolor de cabeza”, el 23% con “tos” y el resto con “irritación de garganta”, “cansancio”, “gripe”, “falta de aire” o “ninguna”. La prueba de homogeneidad indicó que esta percepción es homogénea ($\chi^2 = 15.6$, valor $p = 0.028$) entre las escuelas; por ejemplo, el 24.6% de los estudiantes del CAT y el 26.2% del COBATAB asoció la contaminación con “ardor de ojos”. El 10.4% del CAT y el 13.1% de los del COBATAB la asociaron con “dolor de cabeza”. La asociación de la contaminación con alguna molestia a la salud fue independiente del sexo ($\chi^2 = 11.5$, valor $p=0.1198$). Por ejemplo, la asociación con “ardor de ojos” fue seleccionada por 26% de las mujeres y el 24% de los varones.

A pesar de la relación que el estudiante hizo entre la contaminación y las molestias a la salud, el 94% de los estudiantes mencionó no ser afectado por ninguna molestia. Este comportamiento se explica en algunas investigaciones donde se ha encontrado que a pesar de que los entrevistados reconocen la existencia de serios problemas de contaminación, niegan los efectos potenciales adversos en ellos mismos. Esto se interpreta como una expresión de invulnerabilidad personal o del barrio, en la cual los individuos están de acuerdo con la presencia del daño, pero niegan que los afecte (Catalán *et al.*, 2001; Catalán y Jaramillo, 2010).

El ardor de ojos fue asociado con la contaminación del aire por poco más del 50% de los adolescentes, lo cual difiere con lo documentado por Catalán *et al.* (2009) quienes asocian a los trastornos en la salud respiratoria dentro de las principales molestias.

Los efectos a la salud de la contaminación del aire son principalmente a las vías respiratorias con impacto sensible en niños, adultos mayores y mu-



de la ciudad de Villahermosa se ha incrementado significativamente.

Figura 6. Percepción de los estudiantes sobre las fuentes de contaminación del aire.

La figura 7 muestra las frecuencias relativas porcentuales de la asociación de la contaminación

eres embarazadas. Estudios epidemiológicos relacionan la exposición a PM10 y PM2.5 con un incremento en la mortalidad por causas no externas, principalmente cardiovasculares y respiratorias. En adultos mayores de 65 años el incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de PM2.5, se asoció con 1.68% y 3.4% de incremento en la mortalidad total y por causas cardiovasculares, respectivamente. De igual forma, tratándose de PM10 el porcentaje de muertes por causas respiratorias y por enfermedad pulmonar obstructiva crónica en este grupo se incrementó en 2.9% y 4.1%, respectivamente (NOM-025-SSA1, 2014).

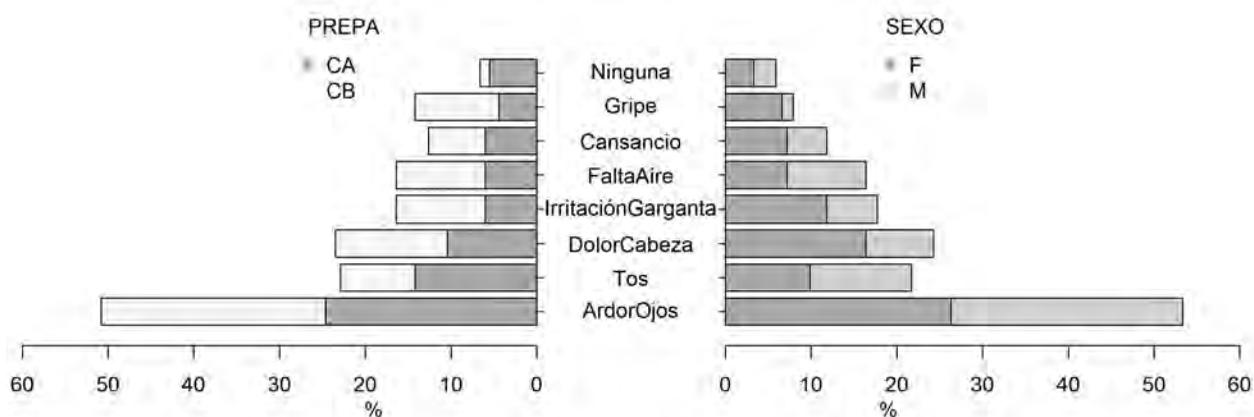
Algunos estudios señalan un incremento en la mortalidad debido a complicaciones respiratorias cardiovasculares (cáncer y afecciones al desarrollo), todos ellos relacionados con la exposición a la fracción fina, ozono y sulfatos. Se estima que este incremento puede ser del 6.9% por incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el promedio de 3 días previos, aunque otros autores han reportado incrementos por las mismas causas que van desde 0.4% por incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en las 3 semanas previas, hasta 6% por incremento de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En niños menores de 1 año, residentes en la ciudad de México, la mortalidad se incrementó en 5.5% por cada incremento en el rango inter-

de un 9.8%. Este efecto se incrementa en personas de estrato socioeconómico bajo (NOM-025-SSA1, 2014).

Figura 7. Frecuencias porcentuales de asociación de los efectos adversos de la contaminación del aire sobre la salud.

Las mujeres tienden a percibir un impacto de la contaminación en la salud y en el ambiente más serio que los hombres, es decir, muestran una mayor preocupación por ello, lo cual coincide con los estudios de Catalán *et al.* (2009), Hernández (2009) y Nordenstedt e Ivanisevic (2010), los cuales reportan que las mujeres generalmente evalúan más alto los riesgos que los hombres y están menos dispuestas a aceptarlos, por lo cual, cuando perciben que algún riesgo puede afectar su salud y la de su familia, este genera que se despierte un gran interés para informarse y atender la situación. Al mismo tiempo son las mujeres quienes mostraron estar dispuestas a desprenderse de comodidades para contribuir en acciones en la disminución de la contaminación del aire en el presente trabajo.

Una de las hipótesis que explica tales diferencias señala que las mujeres se caracterizan por mostrar una mayor preocupación por la salud y la seguridad humanas debido a la maternidad y a la



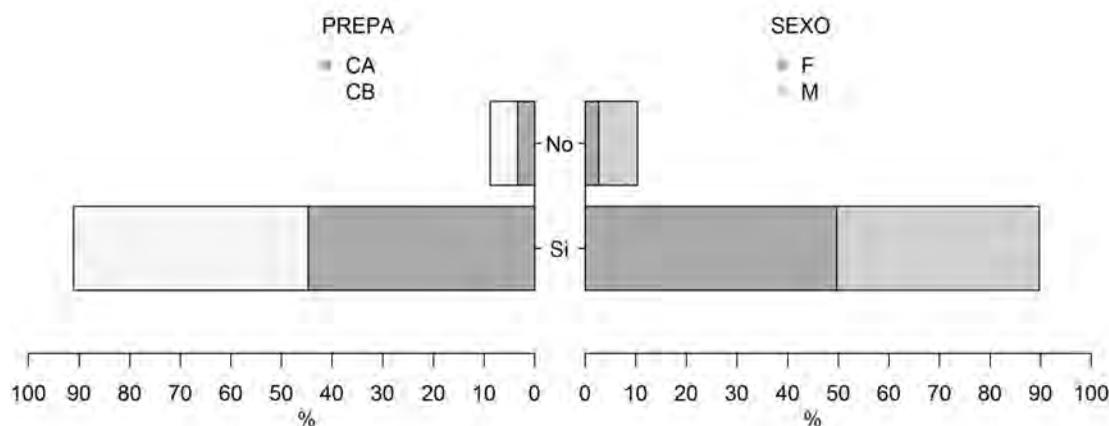
cuartil de 38.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10, mientras que la mortalidad secundaria por causas respiratorias fue

educación que reciben para cuidarla y mantenerla; se les considera más vulnerables en el terreno físico y con menor contacto con la ciencia tanto en el contexto laboral como académico, todo lo cual influye para que perciban un riesgo más alto (Catalán *et al.*, 2009).

La figura 8 muestra, de manera contundente, la asociación que los estudiantes establecen entre la muerte y la contaminación atmosférica. La evidencia acumulada a través de la investigación indica que los contaminantes atmosféricos son responsables de contribuir al aumento de la mortalidad general, de la mortalidad infantil, de la mortalidad de

66.1% del total de estudiantes entrevistados opinó que este problema no se da durante todo el año, sino más bien en periodos específicos, principalmente de marzo a julio. En Tabasco, en este periodo los ganaderos y agricultores de la zona aprovechan para llevar a cabo la rosa, tumba y quema de sus terrenos (Secretaría de Desarrollo Social y Protección del Medio Ambiente, 2003); también es el periodo donde se presentan altas temperaturas medias del aire ambiente. Principalmente en el mes de mayo y junio se observan valores altos de PM10 y O3 (Figuras 2 y 3).

Del total de entrevistados, el 83.2% indicó que desconoce si se mide la calidad del aire en la ciudad de Villahermosa; de estos, 44.05% son del CAT y 39.15% del COBATAB. Es significativo este desconocimiento, pues en la ciudad de



mayores de 65 años y de las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias y cardiacas. Tan solo en nuestro país se estima que 38 mil personas murieron entre 2001 y 2005 a causa de la contaminación atmosférica; de estas, aproximadamente 5000 fueron niños (INECC, 2011).

Figura 8. Asociación que los estudiantes establecen entre contaminación atmosférica y muerte.

Mediante un ejercicio para priorizar problemas ambientales, el 55.8% de los entrevistados consideró que la “contaminación por residuos” es el problema más importante en Villahermosa. El 41.4% consideró en segundo lugar a la contaminación del aire, el 41.5% de los entrevistados estableció que el tercer problema de mayor importancia es la falta de áreas verdes y 70% coincidió que en cuarto lugar de importancia se encuentra la contaminación por ruido. Con relación a la contaminación del aire, el

Villahermosa se mide y reporta la calidad del aire desde el año 2000 a través del Sistema de Información Ambiental disponible en el portal web de la Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental (SERNAPAM) e incluso se han realizado inventarios de emisiones para los años 2001, 2002 y 2003. Este hallazgo brinda la oportunidad a las autoridades responsables del monitoreo de la calidad del aire de dar mayor difusión a este portal entre los estudiantes de nivel medio superior y educación básica.

Más del 90% de los estudiantes afirma que existen zonas de mayor contaminación que otras, sin embargo, la mayoría de los adolescentes considera que sus respectivas escuelas se localizan en zonas menos contaminadas; estos resultados coinciden con otros estudios realizados en población adolescente y adulta (Catalán *et al.*, 2009; SMA, 2001;

Catalán *et al.*, 2001), donde el porcentaje de percibir como “alto” el grado de contaminación disminuye conforme a su entorno inmediato (lugar de residencia o plantel educativo). El fenómeno mediante el cual los sujetos distinguen menos contaminación en su ambiente inmediato, en comparación con otras áreas, o niegan la existencia de la contaminación del aire como problema en su lugar de residencia, ha sido denominado en la literatura como *Neighbourhood halo effect*, y se evidencia en los estudios en población adulta como en adolescentes del Distrito Federal (Catalán *et al.*, 2009; Catalán *et al.*, 2001) sobre percepción de la contaminación del aire industrial y urbano realizados desde un enfoque psicológico.

Según Catalán *et al.* (2009), la importancia del hallazgo del *neighbourhood halo effect* en la población es que ubica la contaminación del aire como “un problema de otros”, a un distanciamiento del problema y a una falta de participación social, situación que puede significar una falta de involucramiento en los programas de comunicación y manejo de riesgo, y que se expongan más a los contaminantes del aire con las consecuentes implicaciones en la salud.

Finalmente, dado los resultados de la encuesta y de acuerdo con algunos autores como Calixto y Reyes (2010) así como Sánchez *et al.* (2009), la educación ambiental desempeña un papel fundamental en la sensibilización del futuro ciudadano, en la toma de conciencia respecto a la forma de comprender y modificar su relación como ser humano y como consumidor con el medio ambiente, en la determinación que les capacite para actuar individual y colectivamente en la solución del problema. No obstante el papel de la educación ambiental resulta poco efectiva cuando en diversos escenarios sociales se promueve en las personas la búsqueda del placer, la acumulación de bienes y al individualismo.

CONCLUSIÓN

Se observa que los estudiantes perciben que la contaminación del aire es alta, lo que coincide con la evaluación de la calidad del aire. La mayoría de los estudiantes tiene claro que la contaminación tiene un efecto adverso en su salud. Por otro lado, la percepción que tienen los estudiantes con respecto a las fuentes principales de contaminación en la ciudad de Villahermosa no coincide con lo que se establece en estudios sobre inventario de emisiones. Este último resultado, se presume es consecuencia de que la población no está recibiendo la información suficiente respecto a la calidad del aire, así como la orientación adecuada para prevenir, reducir y atender este problema, ya que la mayoría no conoce los sitios donde se reporta la calidad del aire de la ciudad ni la institución que lo realiza. A pesar de que en las instituciones educativas de nivel medio superior se ha hecho hincapié en los temas del medio ambiente, tal como reciclaje, residuos y contaminación del agua, aún se requiere reforzar los conocimientos sobre la contaminación del aire, esto es, conceptos, contaminantes, fuentes, las precauciones y acciones para prevenirla y reducirla.

Por último, considerando que la evaluación de la calidad del aire y la participación ciudadana son esenciales en el control de la contaminación atmosférica, los resultados obtenidos permitirán abordar el tema mediante una investigación más completa que posibilite a las autoridades del estado de Tabasco sustentar políticas de prevención y control de la contaminación atmosférica a través de acciones que garanticen la irrestricta observancia en el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a las autoridades del Colegio de Bachilleres de Tabasco Plantel 29 y del Colegio Americano de Tabasco el apoyo otorgado a la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBANESI M.L. Y LAGO N. (2011). PERCEPCIÓN AMBIENTAL DE LOS ALUMNOS DE ESCUELAS PRIMARIAS DE LA CABA, DEFENSORÍA DEL PUEBLO DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES. WWW.DEFENSORIA.ORG.AR/AREASTEMATICAS/PDF/PERCEPCIONAMBIENTAL.PDF
- CALIXTO FLORES, R., Y HERRERA REYES, L. (2010). ESTUDIO SOBRE LAS PERCEPCIONES Y LA EDUCACIÓN AMBIENTAL. *REDALYC*, 11 (22), 227-249.
- CATALÁN-VÁZQUEZ, M., ROJAS, R.M. Y PÉREZ, N. J. (2001). LA PERCEPCIÓN QUE TIENE LA POBLACIÓN ADULTA DEL DISTRITO FEDERAL SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE. ESTUDIO DESCRIPTIVO. *REV. INS. NAL. ENF. RESP. MEX*, (14), 220-223.
- CATALÁN-VÁZQUEZ, M. (2006). ESTUDIO DE LA PERCEPCIÓN PÚBLICA DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SUS RIESGOS PARA LA SALUD: PERSPECTIVAS TEÓRICAS Y METODOLÓGICAS. *REV. INST. NAL. ENF. RESP. MEX*, 19(1), 28-37
- CATALÁN-VÁZQUEZ, M., RIOJAS-RODRÍGUEZ, H., JARILLO-SOTO, E. C. Y DELGADILLO-GUTIÉRREZ, H.J. (2009). PERCEPCIÓN DE RIESGO A LA SALUD POR CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN ADOLESCENTES DE LA CIUDAD DE MÉXICO. *SALUD PÚBLICA*, (51), 148-156. RECUPERADO DE [HTTP://BVS.INSP.MX/RSP/ARTICULOS/ARTICULO.PHP?ID=002312](http://BVS.INSP.MX/RSP/ARTICULOS/ARTICULO.PHP?ID=002312)
- CATALÁN-VÁZQUEZ, M., Y JARILLO-SOTO, E.C. (2010). PARADIGMAS DE INVESTIGACIÓN APLICADOS AL ESTUDIO DE LA PERCEPCIÓN PÚBLICA DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE. *REV. INT. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL*. 26 (2) 165-178.
- FERNÁNDEZ MORENO, Y. (2008). ¿POR QUÉ ESTUDIAR LAS PERCEPCIONES AMBIENTALES?: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA MEXICANA CON ÉNFASIS EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS. *ESPIRAL, ESTUDIOS SOBRE ESTADO Y SOCIEDAD*, XV (43), 179-202.
- FLORES-RUIZ, J.H.; PEÑA-GARCÍA, P.; BALCÁZAR, M.; MADRIGAL-URIBE, D; RAMOS-CORONA, L.A.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, A. Y MORELOS-MARTÍNEZ, J. (2010). ESTIMACIÓN DEL RIESGO A LA EXPOSICIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS EN EL VALLE DE TOLUCA. *CIENCIA ERGO SUM*, 17(1):72-80
- HERNÁNDEZ PÉREZ, G. (2009). PERCEPCIÓN SOCIAL DEL RIESGO POR CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN MIRAVALLE, ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA (TESIS DE MAESTRÍA). LAS AGUJAS, ZAPOPAN, JALISCO, MÉXICO: UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.
- HORTON N.J., Y KLEINMAN K. (2011). USING R FOR DATA MANAGEMENT, STATISTICAL ANALYSIS, AND GRAPHICS. CRC PRESS. BOCA RATON, LONDON, NEW YORK.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO. (2011). CUARTO ALMANAQUE INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. RECUPERADO: 26/ NOVIEMBRE DE 2012, DE [HTTP://WWW2.INE.GOB.MX/PUBLICACIONES/CONSULTAPUBLICACION.HTML?ID_PUB=652](http://WWW2.INE.GOB.MX/PUBLICACIONES/CONSULTAPUBLICACION.HTML?ID_PUB=652)
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO. (2010). MANUAL 5. PROTOCOLO DE MANEJO DE DATOS DE LA CALIDAD DEL AIRE. RECUPERADO: 15 DE ENERO DE 2013, DE [HTTP://WWW2.INECC.GOB.MX/PUBLICACIONES/CONSULTAPUBLICACION.HTML?ID_PUB=625](http://WWW2.INECC.GOB.MX/PUBLICACIONES/CONSULTAPUBLICACION.HTML?ID_PUB=625)
- INSTITUTO NACIONAL DE GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). DISPONIBLE EN [HTTP://WWW3.INEGI.ORG.MX/SISTEMAS/MEXICOCIFRAS/DEFAULT.ASPX?E=27](http://WWW3.INEGI.ORG.MX/SISTEMAS/MEXICOCIFRAS/DEFAULT.ASPX?E=27). CONSULTADA EL 11 DE FEBRERO DE 2015.
- LACY, R., LÓPEZ, M., Y ORTEGA, J, A. (2000). CONCIENCIA CIUDADANA Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: ESTADO DE SITUACIÓN. CD DE MÉXICO: COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.
- MENDOZA V.M. (2002) INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS POR LA ACTIVIDAD DE LAS INSTALACIONES PETROLERAS EN LA ZONA CENTRAL DEL ESTADO DE TABASCO, TESIS DE MAESTRÍA, UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO.
- MOLINA, L.T., Y MOLINA, M. J. (2005). LA CALIDAD DEL AIRE EN LA MEGACIUDAD DE MÉXICO: UN ENFOQUE INTEGRAL. (PP. 24-30). COLECCIÓN DE SECCIÓN DE OBRAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. FONDO DE CULTURA ECONÓMICA.
- MUNGUÍA, M.E. Y PÉREZ, N. (2003). LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL SUR DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO. *REVISTA DEL*

- INSTITUTO NACIONAL DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS, 16(1):48-53
- NAVIDI W. (2006). ESTADÍSTICA PARA INGENIEROS Y CIENTÍFICOS. MCGRAWHILL. MÉXICO, D.F.
- NOM-020-SSA1. (2014). VALORES LÍMITE PERMISIBLES PARA LA CONCENTRACIÓN DE OZONO EN EL AIRE AMBIENTE Y CRITERIOS PARA SU EVALUACIÓN. DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN.
- NOM-025-SSA1. (2014). VALORES LÍMITE PERMISIBLES PARA LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS PM10 Y PM2.5 EN EL AIRE AMBIENTE Y CRITERIOS PARA SU EVALUACIÓN. DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN.
- NORDENSTEDT, H., E IVANISEVIC, J. (2010). VALUES IN RISK PERCEPTION - STUDYING THE RELATIONSHIP BETWEEN VALUES AND RISK PERCEPTION IN THREE COUNTRIES. JAMBA: JOURNAL OF DISASTER RISK STUDIES, 3 (1), 335-345.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). (2014). SIETE MILLONES DE MUERTES CADA AÑO DEBIDAS A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: CENTRO DE PRENSA. RECUPERADO DE [HTTP://WWW.WHO.INT/MEDIACENTRE/NEWS/RELEASES/2014/AIR-POLLUTION/ES/](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/)
- PÉREZ-TEJEDA H.E. (2008). ESTADÍSTICA PARA LAS CIENCIAS SOCIALES DEL COMPORTAMIENTO Y DE LA SALUD. 3ª EDICIÓN. CENCAGE-LEARNING. MÉXICO, D.F.
- RAMOS-HERRERA S., BAUTISTA-MARGULIS R.G., VALDEZ-MANZANILLA A. Y ESTEBAN-CASTRO M. (2010). ANÁLISIS TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS PM10 EN VILLAHERMOSA, TABASCO. KUXULKAB', 30: 69-76
- ROSALES-CASTILLO, J.A.; TORRES-MESA, V.M.; OLAIZ-FERNÁNDEZ, G. Y BORJA-ABURTO, V.H. (2001). LOS EFECTOS AGUDOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN: EVIDENCIA DE ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS. SALUD PÚBLICA DE MÉXICO, 43(6):544-555
- SÁNCHEZ CARRIZÓSA, K., LÓPEZ RICALDE, C.D., Y LÓPEZ HERNÁNDEZ, S.E. (2009). EDUCACIÓN AMBIENTAL Y LA CARTA A LA TIERRA. REVISTA DE DIVULGACIÓN KUXULKAB', XV (18), 63-68.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL Y PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE. (2003). PRIMER INFORME DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL ESTADO DE TABASCO 2001-2002. EN PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE. TABASCO, MÉXICO.
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y DE SALUD DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL. (2001). PERCEPCIÓN SOCIAL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO. EN ECOSISTEMA URBANO Y SALUD DE LOS HABITANTES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO. RECUPERADO DE [HTTP://WWW.SMA.DF.GOB.MX/SMA/DOWNLOAD/ARCHIVOS/ECOSISTEMA_URBANO_Y_SALUD_HABITANTES.PDF](http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/ecosistema_urbano_y_salud_habitantes.pdf)

Normas de publicación para los autores

La publicación de *Ciencia en la Frontera: Revista de Ciencia y Tecnología* de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez se inició en 1999 con el apoyo del Departamento de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y la Coordinación Editorial del Dr. Luis Fernando Plenge Tellechea. Desde su inicio, la revista *Ciencia en la Frontera* ha incluido en su comité de revisores a docentes de instituciones con presencia nacional e internacional dando valor agregado a los manuscritos publicados en la revista.

La dependencia editora es por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, el Departamento de Ciencias Químico Biológicas.

Descripción de la revista.

Ciencia en la Frontera: Revista de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez publica contribuciones originales e inéditas de investigación y divulgación, de interés en todos los ámbitos de la Ciencias y la Tecnología.

Comité Editorial.

El comité editorial de la revista *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología* de la UACJ, recibe propuestas de artículos sobre tópicos de Ciencia en General para su publicación bajo dos modalidades: artículos de investigación y artículos síntesis de investigación (Revisiones). Las normas establecidas para la publicación son las siguientes:

1. Los trabajos deberán ser de calidad científica e inéditos.
2. Una vez publicado el artículo, los derechos de autor pasan a la UACJ.
3. Los artículos pueden ser artículos de investigación original y revisiones, los cuales deberán referirse a las áreas de ciencias naturales y exactas, ajustándose al dictamen del Comité Editorial, el que evalúa la calidad de su contenido científico y decide sobre la pertinencia de su publicación.
4. Los trabajos pueden ser enviados para su publicación en el idioma inglés o el español. Los artículos deberán incluir resumen en español seguido de uno en inglés (y viceversa).
5. Los trabajos deben ajustarse al siguiente formato:

Título del trabajo, breve y conciso, menor a 120 caracteres (incluyendo espacios)

Un resumen del contenido en español de 150 palabras como máximo, y un abstract en inglés

Nombre de los autores.

Adscripción de todos los autores.

La institución de adscripción de los autores participantes deberá incluirse como un pie de página, comenzando con el número 1.

Ejem. Ramírez, J. L.¹ y Martínez, R.²

¹ Universidad de Puebla, México.

² Universidad de Santiago Compostela, España

Naturaleza del trabajo: artículo de investigación original, síntesis de información (Revisión).

Dirección para correspondencia que incluya: teléfono, fax y correo electrónico. El nombre del autor al cual se dirigirá la correspondencia debe indicarse con un asterisco (*) y la leyenda “Autor para correspondencia”.

Artículo de investigación original. Deberá constar de las siguientes secciones:

Introducción.

Método Experimental. En el caso de presentar experimentos con animales vivos, anexar aprobación del Comité De Bioética de la Institución de los autores

Resultados y Discusión

Conclusiones

Bibliografía. Las referencias bibliográficas deben asentarse de la forma convencionalmente establecida en español, indicando éstas en el cuerpo del texto con los apellidos del primer autor y año de publicación entre paréntesis, y los datos bibliográficos al final del escrito. La bibliografía se presenta al final del artículo por orden alfabético.

Distribuir los datos de las referencias bibliográficas de la siguiente manera:

REFERENCIA DE LIBRO:

Apellidos, nombre del autor. Título del libro. Ciudad y País, Editorial. Número de páginas totales, año.

Ejemplo:

Foucault, Michael. Las palabras y las cosas. México: Siglo XXI. Pp. 30-45. 1984.

REFERENCIA DE CAPÍTULO LIBRO:

Apellidos, nombre del autor. Título del capítulo. In: Apellido e iniciales del editor (ed.). Título del libro. Ciudad y País, Editorial. Páginas del capítulo, año.

Ejemplo:

Levine, F. Economic perspectives on the Comanchero trade. In: Spielmann CA (ed.). Farmers, hunters and colonists. Tucson, AZ: The University of Arizona Press. 155-169, 1991.

REFERENCIA DE REVISTA:

Apellido(s) del autor, inicial(es); otros autores. (año). “Título del artículo”. Nombre de la revista, volumen, páginas.

El título del a revista debe abreviarse según el Index Medicus journal abbreviations:

<http://www.nlm.nih.gov/tsd/serials/lji.html>

Ejemplos:

Sagara, Y., Fernandez-Belda, F., de Meis, L. e Inesi, G. (1992). "Characterization of the inhibition of intracellular Ca²⁺ transport ATPases by thapsigargin". J. Biol. Chem., 267, 12606-12613.

Rivas-Cáceres, R. (1999). Médanos de Samalayuca. Un urgente reclamo, una estrategia emergente. Ciencia en la Frontera, 1, 29-32.

Artículo de Síntesis de Investigación (revisión)

Introducción.- Se sugiere exponer enfáticamente la relevancia del tema de la Revisión dentro de un área del conocimiento.

Desarrollo del tema y subtemas

Perspectivas.- Analizar la síntesis expuesta con el planteamiento de los posibles descubrimientos ó desarrollos dentro del área, e implicaciones de índole terapéutica, industrial, o de impacto social.

Bibliografía. Conforme se ha expuesto para los artículos de investigación original

El manuscrito debe remitirse en formato de "Word"; la tipografía Arial de 12 puntos, con 1.5 de espacio entre renglones. La extensión del trabajo deberá ser máximo de 30 cuartillas de texto.

Las figuras pueden ser ilustraciones, gráficas y fotografías; las figuras y los cuadros deberán referirse dentro del texto, enumerándose en el orden que se citan en el mismo, e indicar el programa de cómputo en el que están elaborados. Los cuadros deben separarse del texto del artículo y colocarse en un listado después de la bibliografía. Los pies de figura deberán ser explícitos sin necesidad de leer el texto principal, deberán incluirse en un listado después de los cuadros. Los archivos de las figuras, que pueden ser fotografías, ilustraciones y gráficas deben enviarse aparte, indicando el título del trabajo y la secuencia (Figura 1, Figura 2, etc). Los archivos de las figuras deben ser menores a 2 MB.

SOBRE LA REMISIÓN DE ARTÍCULO Y EL PROCESO EDITORIAL

Remitir el original por correo electrónico a
ciencia.frontera@uacj.mx
con atención al Comité Editorial

En el texto del correo electrónico debe exponerse el título del artículo y los autores, en archivos anexos deben incluirse:

Datos de contacto de tres revisores que dictaminarán la calidad del trabajo, los revisores deben ser de una Institución diferente a la de los autores; las Facultades, escuelas, institutos ó centros de investigación de la misma universidad se considerarán como una misma institución; los diferentes departamentos de una empresa también se considerarán como pertenecientes a la misma institu-

ción, y por lo tanto no podrá incluirse a su personal como dictaminadores. Los datos de contacto son:

Nombre Completo del Revisor

Adscripción: Institución, Dependencia, Departamento, Grupo de Trabajo.

Correo electrónico

Números de Teléfono, y FAX

Dirección con Código Postal.

El Comité Editorial acusará recibo del trabajo mediante correo electrónico. No se extienden oficios por la recepción del manuscrito. La recepción del manuscrito no garantiza su publicación.

Posteriormente a un tiempo de dictamen de un mes máximo, el Comité Editorial remite, vía correo electrónico, el trabajo a sus autores para que realicen las modificaciones que hubiera, con base en las acotaciones de los dictaminadores.

Los autores remitirán la segunda versión del manuscrito en un plazo máximo de 2 semanas y el Comité Editorial acusa recibo mediante correo electrónico. En caso de no recibir la versión corregida en este plazo, el comité se reserva el derecho de descartar la publicación y su posterior remisión se considerará como un nuevo proceso.

No se emitirán oficios por la recepción de los trabajos corregidos.

Posteriormente a la recepción del artículo en su versión definitiva, el Comité Editorial emite una acuse de recibo por correo electrónico y anunciará el proceso de revisión de galeras y publicación. Durante éste, el Comité Editorial trabaja en conjunto con la Subdirección de Publicaciones de la UACJ.

No se emiten oficios por cada artículo aceptado para publicación.

Cada fascículo se incluye en la página de publicaciones periódicas de la UACJ, bajo la dirección: <http://www2.uacj.mx/Publicaciones/cienciaenlafrontera/default.htm>

La versión impresa de cada fascículo se procesa por la Subdirección General de Publicaciones.

Descripción del arbitraje.

El comité editor revisa las propuestas recibidas evaluando el valor científico; si dicho parámetro es aceptable, se establece un comité de revisores compuesto de al menos dos pares expertos en el área temática del trabajo en cuestión; una vez evaluado por los pares expertos, el comité editor toma la decisión sobre la aceptación o no del manuscrito para publicación.