



3 líneas en blanco

LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y LA RESISTENCIA A LOS METALES PESADOS

Karina Espinoza García¹, Leticia Guadalupe Navarro Moreno¹, Jorge Conde Acevedo¹, Sadia Joyce Mendez Velasco¹, Aurelio Ramírez Hernández¹.

¹Universidad del Papaloapan Circuito Central #200, Colonia Parque Industrial, Tuxtepec, Oax., México C.P. 68301. rubi-aries@hotmail.com, Lgnavarrom@hotmail.com, Jorgeconde@hotmail.com, j.aries.09@gmail.com, chino_rah@hotmail.com

RESUMEN

A lo largo del tiempo, el hombre se ha dedicado a sobreexplotar los recursos naturales que lo rodean. Este es el caso de la gran variedad de elementos metálicos que se han convertido en uno de los materiales más utilizados por el hombre. Lo anterior ha generado una elevada contaminación con estos elementos. El agua es uno de los principales recursos que ha resultado más contaminada por metales pesados. El río Papaloapan constituye un ejemplo de lo anterior. El objetivo de este trabajo fue detectar contaminantes metálicos en éste río y en algunos otros que llegan al mismo, así como formas microbianas capaces de tolerar ambientes contaminados con metales pesados. Entre los resultados se ha detectado la presencia de metales como plomo, cadmio y mercurio y tres cepas bacterianas resistentes a plomo. De la misma manera, estas bacterias han demostrado resistencia a metales como el cadmio y el cromo. Lo anterior resulta de importancia clínica debido a que las bacterias que muestran resistencia a los metales son enterobacterias de la flora normal del ser humano, lo cual representa un problema futuro dentro del área de la salud.

PALABRAS CLAVE: Contaminación ambiental, metales pesados, bacterias resistentes.

INTRODUCCIÓN.

La humanidad siempre ha vivido con la idea de que la naturaleza cuenta con recursos inagotables, gratuitos y eternos. En la actualidad, se descubre que lo anterior no es verdad y debido al abuso que de estos se han hecho, ahora se encuentran en peligro de sufrir daños irreparables.

Uno de los grandes males que la humanidad ha tenido que enfrentar es el hecho de que debido al abuso que se tiene con los recursos naturales se ha originado la contaminación ambiental, la cual puede definirse como el desequilibrio entre los recursos naturales y el uso que se hace de los mismos. (Ponce, 1992).

El hombre ha creado grandes industrias en las cuales hace uso de los recursos naturales y produce una enorme cantidad de desechos tóxicos, entre los cuales se encuentran los metales pesados. Debido a la creciente actividad industrial en la que el hombre fue generando muchas fuentes de contaminación, la exposición de los seres vivos a altas cantidades de metales pesados fue aumentando a medida que el tiempo transcurría.

Así surgieron los primeros casos de intoxicación por metales pesados (incluyendo desde microorganismos hasta seres humanos), mismos que permanecieron ocultos debido al número limitado de conocimientos y estudios sobre la intoxicación con éstos. Hoy en día las consecuencias de la exposición a metales pesados pueden ser detectadas al evaluar las principales funciones celulares (reproducción, crecimiento y desarrollo).

Los estudios bioquímicos realizados a lo largo de varios años por un gran número de investigadores han generado gran número de datos sobre los efectos que la exposición a



diferentes metales tiene en los seres vivos y en algunos casos se han descubierto bio-marcadores para el estudio de los efectos de estos agentes químicos en sistemas biológicos (APHA, 1998; recuperado de Standard American Water Works Association, Water Environment Federation, y Morton *et. al*; 2009).

Se definen como “metales pesados” a aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g cm^{-3} cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre mayor a 0.01%. Existen una serie de elementos químicos que suelen considerarse metales pesados por presentar origen y comportamiento asociado, son los metales ligeros o no metales, como el caso del arsénico (As), selenio (Se) y fósforo (P) (Morton *et. al*, 2009). Se debe tener en cuenta que cualquier elemento que a priori es beneficioso para la célula, en concentraciones excesivas puede llegar a convertirse en tóxico. Muchas de las acciones de estos elementos se deben a sus características fisicoquímicas, las cuales le confieren una particular forma de actuar.

La tabla 1 muestra algunos de los metales que tienen poca o nula actividad en el metabolismo animal y vegetal.

Tabla 1. Clasificación de metales en función de su papel biológico. (Tomado de ATSDR, 2012)

Grupos	Definición	Elementos
Oligoelementos	Requeridos en trazas para el metabolismo de microorganismos, animales y plantas.	As, B, Co, Cu, Mo, Mn, Mg, Se, Zn, Cr, etc.
Metales sin función biológica conocida.	Su presencia en determinadas cantidades en seres vivos conlleva disfunciones en el funcionamiento de los organismos. Resultan altamente tóxicos, y presentan la propiedad de acumularse en el organismo.	Cd, Hg, Pb, Ti, Ni, Se y Cr.

Fenómenos de resistencia a metales pesados en bacterias.

El fenómeno de resistencia tiene un sustrato genético intrínseco o adquirido que se expresa fenotípicamente por mecanismos bioquímicos. De esta manera puede observarse la resistencia desde dos ambientes: el biológico y el bioquímico.

Se conoce como resistencia natural a los mecanismos permanentes determinados genéticamente, no correlacionales con el incremento de dosis de algún compuesto contaminante. La resistencia adquirida aparece por cambios puntuales en el DNA (mutación) o por la adquisición de éste (plásmidos, transposones, integrones).

Las bacterias han desarrollado mecanismos por los cuales puedan tolerar ambientes nocivos. Entre ellos se encuentran los siguientes.

- Componentes celulares que capturan a los iones, neutralizando su toxicidad.
- Enzimas que modifican el estado redox de los metales o metaloides, convirtiéndolos en formas menos tóxicas.



- Transportadores de membrana que realizan el trabajo de expulsión de estos agentes tóxicos de la membrana celular.

Entre los factores que determinan la relación de las bacterias con los metales pesados se pueden citar la carga de la pared celular, su relación superficie-volumen y las proteínas de unión para con el metal ([Ramakrishna, 2011](#)).

La resistencia de las bacterias también se basa en la forma de expulsión de estos metales en ellas. Como sistemas de salida se mencionan dos ejemplos.

- Sistema de expulsión de cationes.
- Sistema de expulsión de aniones ([Cervantes et. al, 2006](#)).

Objetivo.

Identificar bacterias resistentes a metales pesados aisladas de diferentes fuentes acuíferas (zonas contaminadas y zonas no contaminadas) y ensayar el fenómeno de la tolerancia cruzada de cepas resistentes a plomo.

METODOLOGÍA.

Se llevó a cabo la recolección de muestras de agua de diferentes efluentes mediante la toma de la misma en recipientes estériles que fueron sumergidos en las aguas de diferentes afluentes del río Papaloapan a las que se les dio el nombre de Papaloapan, Sumatra, Playa de mono, Arrollo Moctezuma, Plan de Águla, Orquídeas y Naranja.

Se aislaron mediante técnicas de microbiología tres cepas bacterianas con diferente sensibilidad a la exposición a plomo.

Se realizaron pruebas de tolerancia cruzada en las cepas expuestas a plomo.

RESULTADOS.

La tabla 1 muestra las zonas de donde se tomaron las muestras de agua para analizar el contenido de metales pesados en las mismas. Los diferentes lugares fueron etiquetados como a) zona en las que el agua se encuentra cercana a fuentes industriales de contaminación, b) zonas francas de contaminación por residuos residenciales y hospitalarios y c) aguas de zonas rurales.

Los datos de la tabla muestran que en general todas las muestras de agua evaluadas presentan contaminación con uno o varios metales pesados, lo cual puede ser explicado por el hecho de que los pobladores de las diferentes zonas no ha tomado las medidas requeridas para evitar que el agua se contamine con desechos metálicos provenientes ya sea de fábricas, talleres o casas-hogar.

La tabla 2 muestra el género y la especie de las bacterias aisladas de las localidades Papaloapan, Plata de mono y Arroyo Moctezuma. En ella se puede observar que se tiene dos cepas, las cuales se sabe pertenecen a la flora normal bacteriana y que en algunos casos pueden llegar a ser patógenas a los humanos. De estas bacterias, *Hafnia alvei* ha resultado ser la bacteria que más se ha adaptado a la exposición a plomo en el medio de cultivo. Lo anterior podría deberse a que este organismo vive de manera normal en un ambiente contaminado con plomo y cromo y que ello haya determinado genéticamente la expresión de sistemas de defensa contra la exposición a metales pesados entre los que se encuentra el plomo. Posteriormente se realizaron ensayos de tolerancia cruzada, en los cuales las bacterias resistentes a plomo mostraron resistencia a concentraciones variadas de mercurio, cadmio y cromo.



Tabla 1. Determinación de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica en aguas de diferentes afluentes del río Papaloapan.

Muestras		Determinación de metales en las muestras de agua (ppm)
a)	Papaloapan 1	Plomo: 1.2 Cromo: 2.3
a)	Papaloapan 2	Cadmio: 0.75
a)	Papaloapan 3	Plomo: 1.2 Cromo: 2.1
a)	Playa de mono 1	-----
a)	Playa de mono 2	-----
a)	Sumatra 1	Mercurio: 0.00072
a)	Sumatra 2	Plomo: trazas Cadmio: trazas
b)	Arroyo Moctezuma (AN)	ND
b)	Arroyo Moctezuma (Eco)	ND
c)	Plan de águila 1	Plomo: Trazas Cadmio: trazas
c)	Plan de águila 2	-----
c)	Orquídeas	-----
c)	Naranjal	Plomo: 0.85

Tabla

2.

Bacterias resistentes a plomo aisladas de diferentes afluentes de agua del río Papaloapan.

Pb (mM)	Colonia			Tiempo (Horas)
	<i>Hafnia alvei</i> (Papaloapan 1)	<i>Bacillus pumillus</i> (Playa de mono)	<i>Bacillus Pumillus</i> (Arroyo Moctezuma (Eco))	
0.32	+	+	+	24
0.629	+	+	+	24
1.95	+	+	+	24
5.66	+	+	+	48
6.59	+	X	X	



CONCLUSIONES.

Nuestros resultados indican que las bacterias al estar expuestas a metales pesados en su ambiente natural podrían estar desarrollando factores o sistemas de defensa contra los metales pesados, lo cual indica que las cepas podrían estar cambiando y al ser más resistentes formar cepas superresistentes a metales pesados. Se tiene pensado retar a estas cepas a diferentes fármacos con el propósito de estudiar si la multi-resistencia a metales condiciona la resistencia a fármacos, lo cual determinaría cepas más dañinas para la salud humana. Solo hemos encontrado una referencia en las cual podemos basar las conclusiones anteriores y esta se cita a continuación. Se han reportado genes, no asociados a elementos móviles, que pueden codificar determinantes de resistencia a antibióticos y metales pesados. Entre ellos: aminoglicósido osfotransferasas, aminoglicósido N-acetiltransferasas, estreptomycin y espectinomycin-fosfotransferasas, cloranfenicol acetiltransferasas, beta lactamasas, transportadores MDR (dos de tipo MFS, dos de tipo ABC y nueve RND) y proteínas de resistencia a kasugamicina, cobre, arsénico y mercurio. Todo este arsenal cromosómico de elementos de resistencia junto con una membrana de baja permeabilidad se han propuesto como responsables de un fenotipo intrínseco multirresistente que es independiente del medio en el que viven algunas bacterias como *Stenotrophomonas maltophilia* que es un bacilo Gram negativo no fermentador de hábitat ubicuo. Principalmente está asociado a ambientes acuáticos aunque también coloniza suelo, plantas y animales. Su interés clínico radica en que es un patógeno hospitalario emergente y puede producir un amplio espectro de infecciones. En pacientes inmunodeprimidos el tratamiento es muy complicado debido a que esta bacteria presenta altos niveles de resistencia a muchos antibióticos (Hernández, 2010).

BIBLIOGRAFÍA.

Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR). (Septiembre, 2012).

Cervantes C. AE Espino-Saldaña, F Acevedo-Aguilar, IL León-Rodríguez, ME Rivera-Cano, M Avila-Rodríguez, K Wróbel-Kaczmarczyk, K Wróbel-Zasada, Gutiérrez-Corona, JS Rodríguez-Zavala, R Moreno-Sánchez; Interacciones microbianas con metales pesados; Revista Latinoamericana de Microbiología; No. 2 Abril - Junio. 2006 Vol. 48 pp. 203 – 210

Hernández Milán B; Menéndez-Rivas M. Hafnia alvei en gastroenteritis aguda infantil. An Esp Pediatría (1998); 48:331.

Morton-Bermea a. E. Hernández-Álvarez a, G. González-Hernández a, F. Romero b, R. Lozano b, L.E. Beramendi-Orosco b; Assessment of heavy metal pollution in urban topsoils from the metropolitan area of Mexico City; Journal of Geochemical Exploration 101 (2009) 218–224.

Ponce-Velez, G. y Botello, A. V. Aspectos geoquímicos y de contaminación por metales pesados en la laguna de Terminos, Campeche. Instituto de Ciencias del Mar y Liminología. UNAM. Rev. Hidrobiología (1991). 1(2).

Ramakrishna W; Li Kefeng; Effect of multiple metal resistant bacteria from contaminated lake sediments on metal accumulation and plant growth; Journal of Hazardous Materials 189 (2011) 531–539.