

Contenido de elementos minerales en sedimentos de algunos vasos acuícolas del centro de la República Mexicana

René Rosiles Martínez*

Abstract

The present study summarizes the mean content of: Se, Cu, Pb, Cd, Ni, Mn, Cr, Fe, Co, Al and Hg in sample sediments collected in water reservoirs in central Mexico. These samples were classified according to the waste they receive: Silva damp (55 samples of industrial waste); Sn. Fco. del Rincon in the state of Guanajuato, Cuautitlan Izcalli (5 samples of industrial waste) in the state of Mexico; Chapultepec (15 samples of urban waste) Huayamilpas (10 samples of urban waste) in Mexico City and El Zarco lake (5 samples of rural waste) in the State of Mexico. Analyses for heavy metal content was performed following the atomic absorption spectrometry. Age in years of these lakes was estimated according to the time they first received waste water and it was as follows: Chapultepec (150), Silva damp (70), Cuautitlan (50), Huayamilpas (30) and El Zarco (30). Findings in this study indicate that Se (0.305 ppm) and Al (42577 ppm) contents are the highest at El Zarco, even that it was considered as the control reservoir, but Chapultepec presented the highest amount of Pb (439 ppm), Cd (4 ppm), Ni (150 ppm), Mn (466 ppm), Co (24 ppm) and Hg (0.40 ppm), as well as the Silva damp with Cr (318 ppm) and Cu (61 ppm), when compared to other reservoirs included in this study. These lakes seem to be indicators of heavy metal pollution, and are a source of metals for underground water contamination too.

Key words: HEAVY METALS, WATER RESERVOIRS, MEXICO.

Resumen

Se colectaron muestras de sedimentos de cinco vasos acuícolas del centro de la República Mexicana para identificar Se, Cu, Pb, Cd, Ni, Mn, Cr, Fe, Co, Al y Hg por medio de espectrometría de absorción atómica. Los vasos acuícolas se identificaron por tipos: fabril, urbano y rural, de acuerdo con el ambiente que los rodea; es decir, si afluyen escurrideros de zonas fabriles, urbana y rural (testigo) y por edad en años (a). El número de muestras (m) en cada lugar y ambiente que lo rodea fueron: De tipo fabril: Presa de Silva (70a), San Francisco del Rincón, Guanajuato (55m), y Cuautitlán Izcalli (50a), Estado de México (5m); de tipo urbano, lagos de Chapultepec (150a), México D.F., (15m), y Huayamilpas (30a), Distrito Federal (10m); de tipo rural, El Zarco (30a), Estado de México (5m). Los resultados del análisis comparativamente indican que la más alta concentración de Al (42577 ppm) y el Se (0.305 ppm) que son elementos propios de la corteza terrestre se encuentran en El Zarco. El sedimento del lago de Chapultepec se caracterizó por tener la mayor concentración de Pb (439 ppm), Ni (150 ppm), Mn (466 ppm), Hg (0.4 ppm). El sedimento de la Presa de Silva tuvo las concentraciones más altas de Cu (61 ppm), Cr (318 ppm) y Fe (11815 ppm). Según los resultados, cada lago constituye un depósito de los elementos minerales del ambiente que los rodea. Por ejemplo, el lago de Chapultepec se considera como un depósito de minerales de ambientes urbanos. Cuautitlán y la Presa de Silva reciben los elementos minerales específicos de la industria del lugar a través del drenaje. Estos depósitos se consideran potencialmente peligrosos cuando no están controlados por algún sistema de neutralización, pues por lixiviación o acarreo y dispersión contaminarán los mantos freáticos y suelos vecinos; además, representan fuente de elementos que contaminan la cadena alimentaria iniciada por el plancton.

Palabras clave: METALES PESADOS, RESERVORIOS ACUÍCOLAS, MÉXICO.

Recibido el 9 de septiembre de 1997 y aceptado el 1 de junio de 1998.

* Laboratorio de Toxicología, Departamento de Nutrición, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D. F.

Introducción

La búsqueda de los elementos metálicos y no metálicos en los sedimentos de los vasos acuícolas, se orienta de acuerdo con el tipo de elemento metálico que se sospecha fue arrastrado por la corriente de agua de lluvia o por la afluencia de agua de emisiones industriales o municipales.^{1,2} También se han señalado a estos vasos como verdaderos depósitos de metales que al acumularse evitan la futura distribución por el agua circulante. Una vez depositados estos elementos, se propiciará su inmovilidad, ya sea con un tratamiento químico para bloquear la disponibilidad, o para la reducción de la toxicidad por el cambio del estado de oxidación a su forma inerte (ejemplo de la reducción del cromo hexavalente a trivalente).^{1,2,3,4}

En cuanto a descargas de mercurio (óxido, fenilacetato o metoximetil) a los depósitos acuícolas eutrofizados, se desarrolla un fenómeno conocido como magnificación biológica. Este proceso se inicia a través de la metilación y etilación mercurial mediante los organismos bentónicos. Una parte pasa del agua a la atmósfera como vapor y servirá para contaminar otros depósitos de agua. La otra parte del mercurio metilado en concentraciones reducidas (por ejemplo, 0.1 ppb=ng/g), será asimilado por el fitoplancton con el propósito de llegar a concentraciones de 100 ppb. El zooplancton que se alimenta con el fitoplancton alcanzará hasta 500 ppb; por su parte los insectos adultos y sus larvas alcanzarán cantidades entre 100 y 1000 ppb. En los peces medianos, como la carpa y la mojarra, puede llegar de 5000 ppb y hasta 10000 ppb o más en los peces carnívoros.² La selección de ciertos metales en estudio se basa en aquellos cuya concentración máxima ha sido reglamentada por las leyes de salud de las naciones. En este grupo se incluyen: Cd, Pb, Sn, Hg, Ni y Se, en virtud de que se consideran tóxicos. En especial es importante el mercurio, debido a su capacidad de intercambio en los estratos de la cadena alimentaria. El Fe, Cu, Co y Mn no se consideran nocivos para la salud hasta cierto límite, pero también se vigila su concentración en ciertos lugares. En México existen varios ejemplos de emisiones de elementos como los del cromo, cuyas sales se usan para el curtido de pieles como en el área suburbana de las ciudades de León y San Francisco del Rincón, Guanajuato, México, y las emisiones de esta industria son vertidas al drenaje, junto con las descargas municipales.³ El Pb se conoce como un elemento tóxico que contamina el ambiente de zonas industrializadas, o como una descarga de vehículos de combustión interna que utilizan gasolinas. El Fe, Ni, Cu y Cd se derivan de las emisiones de zonas mineras, industriales o del desgaste de hules de llantas de vehículos automotores. En ciertas zonas de la República Mexicana se han detectado elementos tóxicos en el agua potable, contaminada por lixiviación de yacimientos naturales de arsénico.¹

El cromo por lixiviación de depósitos antropogénicos—por ejemplo, los de la industria de la curtiduría—, han llegado a los mantos freáticos.^{5,6,7,8,9,10} La lixiviación de los metales en depósitos terrestres está condicionada por el pH y la porosidad del suelo, además de la oxidación del elemento. Resultan especialmente peligrosas, sales de elementos que son hidrosolubles en pH ácido. Estas condiciones llegan a desarrollarse en algunos depósitos de desechos antropogénicos. Por ejemplo, en tiraderos de basura, donde, como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica, se desarrolla un pH ácido, lo que hace posible la disolución de la sal del elemento. Una vez que este último, está en solución, se distribuirá a través del agua de los suelos vecinos. En países donde se ha dado este fenómeno, se han descrito ejemplos de áreas altamente contaminadas por metales como el Cd, Zn y Cu en Rumania, y el As y el Cr en México.^{1,3,5,6}

El acarreo de metales pesados se efectúa también por medio del agua de drenaje. Cuando esta agua se usa para riego agrícola, se enfrenta a una limitante: la introducción de los elementos pesados en la cadena trófica alimentaria.^{4,5,7,8,9,10} Es relevante también el acarreo y contaminación de suelos agrícolas irrigados con agua de drenaje industrial y municipal, provocadas por grasa y aceites. Las modificaciones que sufren los suelos por estos contaminantes, como acidificación e impermeabilidad, los hacen difíciles para el tratamiento e inapropiados para el cultivo agrícola.^{8,9,10,11,12}

Estos antecedentes sobre los problemas derivados del acarreo o depósitos de elementos pesados por las aguas de drenaje o escurrimiento al fondo de vasos acuícolas, propicia la dispersión a las áreas vecinas, así como la contaminación de los mantos acuíferos como fuente de agua potable para la población humana y animal.^{2,3,7,13}

De estos antecedentes nace la inquietud por el presente trabajo que tiene como objetivos: evaluar la concentración de Hg, Cr, Fe, Cd, Pb, Ni, Se, Cu y Al en depósitos de agua superficial de acuerdo con la edad y el ambiente: urbano, industrial o rural que los rodea.

Material y métodos

Los elementos que se incluyen en el presente estudio son: Selenio (Se), cobre (Cu), plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni), manganeso (Mn), cromo (Cr), hierro (Fe), cobalto (Co), aluminio (Al) y mercurio (Hg).

Los lugares de muestreo como ejemplo de vasos acuícolas de tipo industrial fueron: Presa de Silva de San Francisco del Rincón, Guanajuato, México, y de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México; vasos de tipo urbano: lagos de Huayamilpas y Chapultepec, D.F., y vaso de tipo rural: El Zarco, Estado de México.

Las muestras de sedimento se tomaron en puntos estratégicos según la forma geométrica y equidistantes, hasta el fondo del vaso. El número de muestras de sedimento de cada vaso acuícola fue determinado por la

figura y superficie. Así en la Presa de Silva de San Francisco del Rincón, Guanajuato, se colectaron 55 muestras, en Chapultepec, 15; en Huayamilpas, 10; en El Zarco 5 y en Cuautitlán Izcalli, 5. La edad de los vasos acuícolas fue estimada por el momento en que se identificó el inicio de la descarga de agua contaminada. Las edades registradas fueron: Lago de Chapultepec, 150 años; Presa de Silva, 70 años; Cuautitlán Izcalli, 50 años; Huayamilpas, 30 años; la de El Zarco no se pudo determinar. La presa de Silva fue seleccionada por antecedentes como la localización de la fábrica de cromatos cerca de la presa, además de la recepción de parte del drenaje de la zona fabril del curtido de pieles del valle de León y San Francisco del Rincón, Guanajuato. La parte restante del drenaje de esta zona va al río Turbio y de ahí al sistema Lerma-Chapala. El lago Cuautitlán Izcalli fue seleccionado por la zona fabril en el norte del Valle de México, localizada en su entorno.³ Los reservorios de agua tipo urbano están situados en el D.F, y son los lagos de Chapultepec y Huayamilpas; el lago de El Zarco, Estado de México, es el prototipo rural sin antecedentes de recepción de agua contaminada por elementos metálicos.^{2,8,9,14}

A las muestras de los sedimentos se les analizó por espectrometría de absorción atómica, con flama de acetileno y aire para: Cr, Fe, Cd, Pb, Ni, Cu, Mn y Co. En el análisis de Al se usó la flama de acetileno y óxido nitroso. Para el caso de Hg y Se, se usará el generador de hidruros con vapor frío (sólo para Hg) acoplado al espectrómetro de absorción atómica.² Estos análisis serán desarrollados para cada elemento según las indicaciones en el manual de operación del instrumento, descritas por el fabricante. Los resultados del análisis serán evaluados en forma comparativa por los tipos de depósito de agua identificados por el ambiente que los rodea. En el análisis estadístico de los resultados se calcularon

medidas de tendencia central y dispersión. Además se graficaron para el análisis aritmético visual y comparativo.¹⁵

Resultados

Al comparar las concentraciones promedio entre los vasos, el dato más significativo del estudio fue de 0.305 ppm de Se, registrados en El Zarco, donde el agua que lo alimenta escurre de las montañas que lo rodean; el ambiente circundante es rural. En cuanto a las muestras de Cuautitlán Izcalli y Chapultepec, sólo tuvieron 0.05 y 0.09 ppm, respectivamente. Esto significa que comparativamente son muy bajos ($P < 0.05$). Respecto al contenido de Cu, las muestras de la Presa de Silva tuvieron el nivel promedio más alto (61 ppm). El resto de los lagos tuvieron niveles inferiores, pero muy similares, cerca de 20 ppm (Cuadro 1).

De los otros elementos minerales esenciales como el Mn, Cr, Fe y Co, los vasos que tuvieron niveles más importantes fueron Chapultepec y Presa de Silva. Es oportuno señalar que cada lugar tiene el contenido más alto de los elementos acorde al ambiente que lo rodea. Por ejemplo, Chapultepec contiene el nivel más alto de Pb, 429; Cd, 3.6; Ni, 150; Mn, 466 ppm y Hg, 390 ppb ($P < 0.01$); todos estos elementos se derivan del ambiente urbano. En cambio en la Presa de Silva se encontraron concentraciones significativas de Cr, 318 ppm ($P < 0.01$). Se supone que este elemento proviene de las emisiones de la industria del curtido de pieles y de los desechos de la industria de los cromatos vertidas en el drenaje. El hierro, 11815 ppm, puede provenir del desgaste de los metales de cualquier tipo de maquinaria.

El Zarco también se distingue por su alto contenido de Al, 42577 ppm. El sedimento de El Zarco se usó

Cuadro 1
CONCENTRACIÓN PROMEDIO (PPM) DE ELEMENTOS EN SEDIMENTOS DE VASOSACUÍCOLAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA

	Se	Cu	Pb	Cd	Ni	Mn	Cr	Fe	Co	Al	Hg
Cuautitlán	0.010	42.00	27.0	1.20	64.0	193.0	12.0	10179	18.0	15169	0.06
D/S	0.005	0.38	2.2	0.01	1.6	92.3	0.7	572	0.5	2652	0.03
Chapultepec	0.093	14.00	439.0	3.60	150.0	466.0	45.0	9872	24.0	14257	0.39
D/S	0.070	51.10	95.9	0.80	53.5	108.0	21.5	2436	4.4	10108	0.21
Huayamilpas	0.033	13.90	36.0	3.10	29.0	173.0	15.0	12932	13.0	17322	0.07
D/S		4.60	23.0	0.61	8.8		2.6	2577			
P. Silva	0.219	61.00	22.0	1.20	65.0	245.0	318.0	11815	17.0	20971	0.09
D/S	0.082	21.00	7.0	0.44	55.0	106.0	222.0	1482	15.0	9510	0.05
Zarco	0.305	52.00	73.0	2.00	74.0	218.0	8.5	10213	17.0	42577	0.16
D/E	0.173	10.60	41.0	0.70	37.0	90.0	5.2	4501	2.7	10974	0.03

D/E= Desviación estándar

como testigo o de referencia; es decir, sin antecedentes de descargas de aguas residuales, excepto los escurrimientos de las montañas aledañas. El contenido de elementos minerales esenciales del sedimento de El Zarco tuvo valores bajos de Cr, Co, Ni, y Cu, al compararse con los de otros vasos. Pero el contenido más bajo de elementos minerales pesados (Pb, Cd, Ni, Cr) se localizó en el sedimento de Huayamilpas. El valor de la desviación estándar de la concentración de los elementos minerales estuvo de acuerdo a la fuente, fue menor cuando se incrementó el número de muestras de cada grupo.

Discusión

El ambiente que rodea al vaso acuícola es definitivo, por ello se considera como la principal fuente de elementos minerales que en él se depositan. De aquí que el fondo del lago de Chapultepec contenga las concentraciones más altas de Pb, debido a que recibe las aguas de una zona urbana identificada con carga vehicular más alta en virtud de que los elementos derivan del combustible consumido o del desgaste de los metales propios de los automotores depositados en el asfalto de las calles de la ciudad.

El Cr se encuentra depositado en mayor concentración en la Presa de Silva de San Francisco del Rincón, Guanajuato. Este depósito recibe el agua del drenaje de la fábrica de cromatos que está en el área y de los drenajes municipales de León y San Francisco del Rincón, Guanajuato, donde se encuentra la industria curtidora.³

En cuanto al Al y el Se, los valores más elevados se localizaron en las muestras de El Zarco. Esta zona parece no tener influencia del hombre de acuerdo con sus características forestales; por lo tanto, los elementos minerales como Al y Se se derivan de depósitos naturales.

Los depósitos de estos elementos minerales se pueden considerar como almacenamientos controlados, siempre y cuando se mantengan inmovilizados o se formen sales. Una manera de inmovilizarlos es formando sales mediante el pH alcalino, para, por ejemplo, a partir de los ácidos clorhídrico, sulfúrico y acético, se formaran cloruro de..., acetato de..., y sulfato de..., los elementos en cuestión. El depósito en suelos impermeables evitará su diseminación hacia los suelos vecinos. Esta acumulación evita la distribución futura; por lo tanto, pueden ser lugares de concentración controlada. El punto a considerar sería que estos lugares pueden ser verdaderas fuentes de elementos metálicos, ya que por medio de la lixiviación contaminan los mantos acuíferos o freáticos del agua potable de la zona. También es cierto que al considerarse como verdaderos depósitos de elementos, podrían permanecer como depósitos inocuos por medio de sistemas de neutralización química o por ajuste del pH, o el uso de sustancias adsorbentes o quelantes, que promueven la sedimentación o fluoculación.

El peligro de su participación en la cadena trófica ambiental aparece cuando las sales de estos elementos minerales son modificadas por bacterias o por organismos.⁵ Un ejemplo claro de este fenómeno es el proceso de "metilación o etilación" que sufre el Hg por efecto bacteriano. Una vez unido al radical orgánico, el Hg penetra en el proceso de magnificación biológica; esto significa que pasa a través de cada estrato en la cadena ambiental y conforme el organismo se hace más complejo o su nivel en la cadena es más alto, la concentración del elemento es también más alta. Como sucede en peces pequeños que se alimentan de plancton, o los peces medianos que se alimentan de peces pequeños, o los peces grandes que se alimentan de los peces medianos, tendrán una mayor concentración del elemento.^{6,8,9,14}

Este fenómeno de biomagnificación se ha dado en varias partes del mundo como ocurrió en la bahía de Minamata, Japón, donde el Hg eliminado por el drenaje de las industrias a la bahía, llegó hasta los humanos por medio del consumo de peces. Un ejemplo de lixiviación es el que ocurre en la enfermedad de *hidroarsenicismo* humano cuando el arsénico es consumido a través del agua de bebida; o la intoxicación por arsénico aguda que mató a 5000 vacas lecheras en la zona de la Laguna de los estados de Durango y Coahuila, ambos en México, cuando una roca natural como fuente de fósforo estuvo contaminada con arsénico.¹¹ Otro ejemplo del mal manejo de los depósitos de elementos tóxicos es la lixiviación que ocurre en los sedimentos de Cr en el valle de León y San Francisco del Rincón, Guanajuato, hacia los mantos acuíferos.³

Esta serie de ejemplos ponen de manifiesto el riesgo que existe de los depósitos naturales o antropogénicos de elementos minerales y que se pueden difundir a los lugares vecinos, cuya distribución futura puede evitarse mediante el depósito controlado.¹³ Cuando este último no existe y las aguas contaminadas son usadas para irrigación agrícola, la contaminación de los productos vegetales por metales pesados o las tierras, contribuyen a la dispersión como sucede en el valle del Mezquital del estado de Hidalgo.^{4,10,11,12}

El bajo contenido de los minerales tóxicos actualmente es de poca relevancia ya que no se les ha podido referir a algún padecimiento orgánico clínicamente detectable. Más bien su efecto se conoce por alteraciones en la concentración de las metalotioneinas inducidas por el Zn, Cu, Cd, Hg y Pb. Asimismo, la medición de la ferritina (dependiente del Fe), la ceruloplasmina (dependiente de Cu), protoporfirinas (dependientes del Pb).¹⁰ Estas sustancias son indicadores específicos y sus alteraciones señalan una disfunción orgánica. La medición de las enzimas, como las indicadoras de daño renal (creatininfosfocinasa), o de daño hepático como las transaminasas¹ son también indicadoras de disfunción orgánica, que no identifican al elemento metálico, pero informan sobre la fisiopatología del órgano afectado.

Referencias

1. Hermosillo LJ, Alvarez P. Wastewater effects on the physical and chemical properties of a soil in the ejido San Antonio de los Bravos, township of Torreon, Coahuila. Proceedings of the 15th World Congress of Soil Science; 1994 May 15-18, Acapulco, Guerrero, Mexico. Acapulco, Guerrero, Mexico: The International Society of Soil Science, The Mexican Society of Soil Science and Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1994;392-393.
2. Villanueva FS. Evaluación de metales pesados en los sedimentos y organismos del río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, Veracruz, México (tesis de licenciatura). México (DF) México: Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza. UNAM, 1980.
3. Armienta MA, Rodriguez R, Quere F, Juarez F, Ceniceros N, Aguayo A. Groundwater pollution with chromium in Leon Valley, Mexico. *J Environ Chem* 1995;54:1-13.
4. Buck WB, Osweiler GD, Carson LT, Van Gelder GA. Clinical and diagnostic veterinary toxicology. 3rd ed. Dubuque (IA): Kendall/Hunt, 1976.
5. Nadine EM. Mecanismos de los microorganismos a los metales pesados y su aplicación en la contaminación ambiental (tesis de licenciatura). México (DF), México: Facultad de Química. UNAM, 1988.
6. Vázquez MA. El plancton dulceacuñícola como indicador biológico de algunos metales pesados, en el lago Nabor Carrillo (tesis de licenciatura). Cuautitlán, Estado de México, México: Facultad de Ciencias. UNAM, 1991.
7. Mejía BM, Sánchez BS, Villarreal LG. Metales pesados en maíz (*Zea mays L.*) alfalfa (*Medicago sativa*) y su correlación con los metales extractables en suelos del distrito de riego 063 del estado de Hidalgo. Memorias del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo; 1992 octubre 5-8; Acapulco, Guerrero, México. Acapulco, Guerrero, México: Sociedad de México en Ciencia del Suelo, 1992:42-43.
8. Rosiles MR. Arseniosis aguda en vacas lecheras de la Comarca Lagunera: concentración en órganos parenquimatosos y tracto digestivo. *Vet Méx* 1978;6:15-18.
9. Mendez T, Flores A, Palacios S. Contamination by heavy metals (Pb, Cr, Ni, Cd, Cu, Mn, and Zn) in soil within the transect Tellez-Pachuca, Hidalgo, Mex. due to the use of wastewaters for crop irrigation. Proceedings of the 15th World Congress of Soil Science; 1994 May 15-18; Acapulco, Guerrero, Mexico. Acapulco, Guerrero, Mexico: The International Society of Soil Science, The Mexican Society of Soil Science and the Instituto Nacional de Estudios de Geografía e Informática, 1994;396-397.
10. Cruz MA. Sequential extraction of metals in contaminated agricultural soils of Papalotla, Mexico. Proceedings of the 15th World Congress of Soil Science; 1994 May 15-18; Acapulco, Guerrero, Mexico. Acapulco, Guerrero, Mexico: The International Society of Soil Science, The Mexican Society of Soil Science and the Instituto Nacional de Estudios de Geografía e Informática, 1994;162-163.
11. Diaz AI, Alcantar G, Carillo GR. Morphology, physiology and nutrition of wheat as affected by Cd, Ni and Pb additions. Proceedings of the 15th World Congress of Soil Science; 1994 May 15-18; Acapulco, Guerrero, Mexico. Acapulco, Guerrero, Mexico: The International Society of Soil Science, The Mexican Society of Soil Science and the Instituto Nacional de Estudios de Geografía e Informática, 1994;168-169.
12. Flores DL, Hernández SG, Mejía BM, Alcalá MR, Sánchez, BS. Algunos metales pesados en suelos regados con aguas residuales. Memorias del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo; 1992 octubre 5-8; Acapulco, Guerrero, Mexico. Acapulco, Guerrero, Mexico; Sociedad de México en Ciencias del Suelo, 1992;40-41.
13. Hernández SG, Mejía BM, Sánchez BS, Villarreal LG. Tendencias en la acumulación de metales pesados en los suelos del distrito de desarrollo rural 063, estado de Hidalgo, por efecto del riego con aguas negras. Memorias del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo; 1992 octubre 5-8; Acapulco, Guerrero, México. Acapulco, Guerrero, México: Sociedad de México en Ciencias del Suelo, 1992;46-47.
14. Sbien C. Heavy metals contamination of soils irrigated with untreated sewage affluent in central Mexico. Proceedings of the 15th World Congress of Soil Science; 1994 May 15-18; Acapulco, Guerrero, Mexico. Acapulco, Guerrero, Mexico: The International Society of Soil Science, The Mexican Society and the Instituto Nacional de Estudios de Geografía e Informática, 1994;398-399.
15. Wayne WD, Bioestadística. México (DF): Limusa, 1987.