

Contribución a la gestión ambiental en el contexto de las producciones agrícolas urbanas en la ciudad de Santa Clara

Contribution to the environmental management in the context of the urban agricultural productions in Santa Clara city

Rosabel Rodríguez Rojas¹, Vladimir Núñez Caraballo¹, Reinaldo Alemán Pérez², Jorge Antonio Pérez Donato², Angel Mollineda Trujillo².

1. Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara. Cuba. Dirección: Marta Abreu 59 altos, esquina Juan Bruno Zayas, Santa Clara Villa Clara, Teléfonos: 20 2444- 20 6768 ext 106.

2. Centro de Investigaciones Agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. País: Cuba.

E-mail: rosabel.rodriguez@vcl.insmet.cu

RESUMEN. El trabajo se desarrolló en el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas y consistió en la determinación de las concentraciones de metales pesados (Pb, Zn, Cd, Fe, Co, Ni, Mn y Cu) en suelo, agua y tejidos de lechuga en el marco de los sistemas de producción agrícola urbana de la ciudad de Santa Clara. Fueron estudiados cuatro organopónicos, tres ubicados en áreas urbanas con fuerte contaminación ambiental y uno en zona periurbana con mayor calidad ambiental. La concentración de los metales pesados se determinó mediante un Espectrofotómetro de Absorción Atómica SP-9 Pye Unicam. Las concentraciones de metales pesados para el tejido vegetal de la lechuga fueron comparadas según lo establecido por la NC NC-493: 2006. Se demuestra que en los organopónicos del área urbana las concentraciones de metales pesados fueron mayores en todos los casos, con posible riesgo en algunos casos para la salud humana. Sobre esta base se hacen recomendaciones y una propuesta de gestión ambiental que permita el desarrollo de estas producciones sin mayores riesgos.

Palabras clave: Agricultura urbana, contaminación, manejo, metales pesados.

ABSTRACT. The work was developed in the Center of Agricultural Investigations (CIAP) of the Central University "Marta Abreu" of Las Villas and it consisted on the determination of the concentrations of heavy metals (Pb, Zn, Cd, Fe, Co, Ni, Mn and Cu) in soil, it water and tissues of lettuce in the mark of the systems of urban agricultural production of Santa Clara City. Four organoponics was studied, in three located in urban areas with strong environmental pollution and one in area peri-urban with high environmental quality. The concentration of the heavy metals was determined by means of an Espectrophotometer of Atomic Absorption SP-9 Pye Unicam. The concentrations of heavy metals for the vegetable fabric of the lettuce were compared according to that settled down by the NC NC-493: 2006. It is demonstrated that in the organoponics of the urban area the concentrations of heavy metals were bigger in all the cases, with possible risk in some cases for the human health, based on they are made it recommendations and a proposal of environmental management that it allows the development of these productions without more risks.

Key words: Urban agriculture, pollution, management, heavy metal.

INTRODUCCIÓN

La agricultura urbana es considerada como un movimiento por el cual se producen alimentos en ciudades, pueblos y asentamientos poblacionales utilizando al máximo los recursos locales, bajo principios de agricultura sostenible. Una experiencia trascendente en lo que respecta a la Agricultura Urbana es la que se ha venido desarrollando en Cuba desde la década de los noventa.

Los efectos de los contaminantes sobre la vegetación y la agricultura dependen de una serie de factores, entre ellos el tiempo de exposición y características morfológicas de las plantas, tales como: tamaño de la hoja, índice del área foliar y cobertura. (Castillo, 2004)

Los metales pesados pueden ser absorbidos por las plantas en dependencia de su disponibilidad en el

suelo y de los mecanismos de selectividad propios de cada especie, variedad o genotipo.

En la ciudad de Santa Clara una de las estrategias desarrolladas en la producción de alimentos es la ubicación de entidades agrícolas dentro de la trama urbana, actualmente cuenta con un número de 45 organopónicos, situados indistintamente cerca de vías principales de transporte automotor, vías férreas, fuentes fijas de emisión de contaminantes, entre otros, que afectan fundamentalmente a los cultivos de hojas, los cuales tienen una alta probabilidad de absorción de metales pesados y otros contaminantes dañinos a la salud humana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Se seleccionaron 4 organopónicos en la ciudad, de ellos 3 dentro del perímetro urbano y 1 en zonas más alejadas (periurbano). Para el estudio se seleccionó la lechuga (*Lactuca sativa* L), cultivada en el periodo poco lluvioso (noviembre-abril). Se analizó el comportamiento de las variables climáticas precipitaciones y dirección predominante del viento.

Los trabajos de campo y laboratorio se realizaron entre los meses enero y febrero de 2009. Se recolectaron muestras de suelo (10 cm) agua de riego y plantas de lechuga y se determinó la concentración de metales pesados plomo(Pb), cobre(Cu), hierro(Fe), cobalto(Co), manganeso(Mg), zinc(Zn), níquel(Ni) y cadmio(Cd) en cada una de ellas mediante el empleo de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica SP-9 Pye Unicam.

Para el procesamiento estadístico de toda la información se empleó el paquete estadístico STATGRAPHICS versión 5.0 del 2000. Se emplearon pruebas de Duncan y Kruskal-Wallis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identifican dos épocas climáticas para la región, la época poco lluviosa, que abarca de noviembre a abril y la época lluviosa, de mayo a octubre. Durante

la época poco lluviosa, periodo en que se realizó el estudio el promedio histórico mensual oscilo entre 32,1 y 84,0 mm, y entre 157,6 y 224,2 mm para la temporada de lluvias. (Estudio de las precipitaciones para la provincia de Villa Clara, 2006). El promedio histórico anual de la variable precipitación para el municipio de Santa Clara es de 1 373 mm.

En los meses de febrero a abril, sin tener en cuenta las calmas es donde ocurren las velocidades medias del viento, más altas entre 10 y 11 km/h aunque considerando la incidencia de las calmas se reducen a 7 y 8 km/h. (Estudio de la Climatología de la dirección y velocidad del viento para la estación Agrometeorológica del Yabú, 2006)

Análisis de la ubicación de los organopónicos:

Las zonas de mayor contaminación de la ciudad de Santa Clara resultaron ser la zona hospitalaria, centro y ferrocarril y en ellas existe una red de organopónicos que suman en su totalidad 14, que representan un 9 % de total con posible riesgo por la contaminación. La zona de mayor contaminación, zona hospitalaria, coincide con la de mayor número de organopónicos con 9, seguida por la del ferrocarril con 3 y el centro con sólo 2 organopónicos.

La parte Este y Este Noreste son las menos contaminadas como resultado de un menor número de fuentes fijas de emisión y mejores condiciones para el transporte y dispersión de los contaminantes (pocos contornos altos, mayor ventilación), también influye una mayor calidad del aire de fondo.

Los organopónicos seleccionados para la toma de muestra se representan (georreferencian) en la figura 1.

1. Semilla de Combatientes, ubicado en la Carretera a Camajuaní, entre C y D, con una extensión de 471 m², con la principal emisión de contaminantes dada por el flujo de automóviles a menos de 5 metros. (Tto 1)

2. El Anapista, ubicado en la carretera Central y calle quinta de la Vigía con un área de 406 m², con la emisión de contaminantes de la chimenea de la Torrefactora y el vial de acceso con una fuerte afluencia de transporte automotor a



Figura 1. Ubicación de los organopónicos seleccionados en la ciudad de Santa Clara

escasos metros de dicha entidad agrícola. (Tto 2)

3. Petrolito, ubicado en la carretera a Subplanta, con una amplia extensión de 3000 m² y con entidades cercanas emisoras de contaminantes tales como: Grupos electrógenos, Fábrica de pienso y el vial de acceso, con menor tráfico vehicular y a 10 metros de distancia. (Tto 3)

4. Ernesto Ché Guevara, organopónico periurbano, ubicado en la carretera a Camajuaní, en el Km 5 y alejado de la principal vía de acceso, con una extensión de 1200 m² y alejado de fuentes fijas de emisión y principales vías de acceso. (Tto 4)

Valoración de las zonas más contaminadas de la ciudad de Santa Clara

Luego del análisis de toda la información, se determina que la zona más contaminada de la ciudad es la hospitalaria, presentando concentraciones medias de los principales contaminantes por encima de las permisibles, llegando a ser considerada como Mala para el periodo poco lluvioso. En esta zona se encuentran ubicados 9 organopónicos muy próximos a las vías principales de acceso a la ciudad y de fuentes fijas, tal como es el caso de las calderas de las instalaciones hospitalarias y chimeneas de

otras pequeñas industrias, que emiten sus contaminantes al aire. Se une a ello la dirección predominante del viento (E-ENE), o sea desde estas zonas más contaminadas hacia la ciudad, lo cual proporciona que los gases contaminantes y algunas de las formas particuladas puedan ser transportados a grandes distancias.

Estos efectos de hecho pueden pasar inadvertidos por mucho tiempo hasta que se sobrepase el umbral de la carga crítica y súbitamente empiecen a aparecer los síntomas de deterioro con los costos económicos y sociales derivados, con posibles efectos de secado de las plantas, disminuyendo así la producción de los cultivos desarrollados en estas áreas.

Análisis del pH en los sustratos de los organopónicos estudiados

En los cuatro organopónicos estudiados el pH se encuentra en niveles de ligeramente ácido a neutro (tabla 1) lo que los convierte en aptos para los cultivos de hortalizas. Asimismo se demuestra que las zonas de ubicación de los mismos no guarda relación con este parámetro. Estos resultados coinciden con Huerres (2002) al referirse a los sistemas de producción agrícola urbanos.

Tabla 1. Valores de pH en agua y KCl en los sustratos de los organopónicos

Organopónico	pH en H ₂ O	pH en KCl
1	6,037	5,912
2	6,77	6,29
3	6,80	6,6
4	7,1	6,9

Deposición de metales pesados en la superficie de las hojas

Los resultados de las pruebas de rango múltiple obtenidas para los elementos Fe, Pb y Zn mostraron que en el organopónico Semillas de Combatientes (Tto 1) los tres metales pesados se encuentran en mayores concentraciones en deposición sobre las hojas de lechuga, con diferencia estadística con el organopónico 4 (tabla 2). Este organopónico se encuentra ubicado en zona urbana y de alta contaminación atmosférica, muy cerca de la carretera y con una dirección predominante del viento del E-ENE, que hace que todas las partículas se muevan en dirección al mismo. Todo lo contrario ocurre en el organopónico Ernesto Guevara (Tto 4), donde los tres metales pesados analizados se encuentran en menores concentraciones respecto a los demás organopónicos. Esto puede estar dado por el hecho de que este se encuentra ubicado en una zona periurbana y de calidad del aire superior, en un lugar fuera de la ciudad, lejos de las fuentes contaminantes y alejado de la circulación de vehículos y por ello se encuentra en suspensión menor cantidad de partículas de metales, lo que hace que en la superficie de las hojas de la lechuga se encuentren depositadas en menor cuantía. Según Lucas (1974) se estima que se ingieren aproximadamente 0,35 mg de plomo (en los Estados Unidos de América), de los cuales 0,31 mg provienen de alimentos, principalmente de vegetales que lo han adquirido por deposición. Un factor que influye en la concentración de plomo en un vegetal, es su localización respecto a zonas industriales o carreteras.

Concentración de metales pesados en el suelo

Los resultados obtenidos para los elementos analizados presentes en el suelo, (Tablas 3 y 4) aportan que en el organopónico Semillas de Combatientes (Tto 1) todos los elementos se encuentran en mayores concentraciones, excepto el níquel, dicho organopónico se encuentra en una zona urbana, con una calidad ambiental deteriorada y un tránsito vehicular a escasos metros de la vía de acceso altamente transitada. Los menores valores de concentración se presentaron en el organopónico periurbano Ernesto Guevara (Tto 4).

Para el elemento plomo se observa que entre los tratamientos 1, 2 y 3 no hay diferencia estadística y sí entre estos y el tratamiento número 4. Los tratamientos 1, 2 y 3 se corresponden con los organopónicos que están en áreas urbanas con alta posibilidad de contaminación ambiental, no siendo así en el 4 que se encuentra en área poco contaminada. Estos valores son superiores a los reportados por Williams *et al.* (2000) quienes exponen que en suelo deben estar entre 0,5 y 2,5 mg en 100 g/suelo seco y resultan superiores a los valores máximos reportados por BOE (1990) al estar en niveles superiores a 5 mg en 100 g/suelo seco. La concentración normal de plomo en suelo varía de 2 a 200 mg/kg, de donde puede ser absorbido por las raíces o tubérculos cultivados en este tipo de suelo (Elfving *et al.*, 1979; Hardh, 1978; Kerin, 1975; Matk, 1977; Splitter y Feeder, 1979). El hierro, cobalto y el cadmio se presentan en mayores concentraciones en los tratamientos 1 y 2 sin diferencia entre ellos y sí con los tratamientos 3 y 4. Los valores de cadmio y cobalto resultan superiores a los reportados por Williams *et al.* (2000).

Tabla 2. Concentración de Fe, Pb y Zn en deposición sobre hojas de lechuga en los cuatro organopónicos (mg/L)

Tratamientos	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Cinc (Zn)
1	8,480 a	0,219 a	0,799 a
2	7,400 ab	0,121 ab	0,781 a
3	5,526 ab	0,159 ab	0,308 b
4	3,313 b	0,109 b	0,304 b

Letras desiguales en la misma columna denotan diferencias significativas según la Prueba Múltiple de Rangos Duncan para un $P \leq 0,05$.

Tabla 3. Concentración de metales pesados en el suelo en los cuatro organopónicos (mg/L x 100 g de suelo seco)

Tratamientos	Pb	Ni	Mn	Fe	Cu	Co	Cd
1	8,54 a	19,667 b	470,167 a	12,05 a	6,967 a	4,183 a	2,667 a
2	7,833 a	23,333 a	290,667 b	11,3 a	4,513 b	4,116 a	2,667 a
3	7,777 a	14,667 c	333,833 b	4,6 b	3,817 b	3,6 b	1,0 b
4	6,097 b	13,333 c	28,0 c	3,28 b	3,267 b	3,5 b	0,817 b
EE ±	0,497	1,000	37,538	1,355	0,579	0,075	0,178

Letras diferentes denotan diferencias significativas según Duncan para un p-value ≤0,05.

Tabla 4. Concentración de Zinc (Zn) en el suelo en los diferentes organopónicos

Organopónicos	Promedio	Media de Rangos
1	4,33	19,833 a
2	2,91	17,167 ab
3	0,66	9,50 b
4	0,08	3,50 b
Valor crítico de comparación		10,771

*Media de Rangos según Kruskal-Wallis. Letras diferentes en la columna denotan diferencias significativas según la Prueba Múltiple de Rangos para un alfa de 0,05.

Concentración de metales pesados en agua.

La figura 2 muestra las concentraciones de metales pesados para el agua de riego de los 4 organopónicos analizados. Las concentraciones de cadmio encontradas en el organopónico 2 están alrededor de los niveles máximos considerados permisibles para aguas de riego (0,01 mg/L) según Ayers y Wescott (1985), lo cual indica cierto nivel de preocupación por la utilización de esta fuente de abasto de agua para el riego en ese organopónico. Las concentraciones encontradas en los otros organopónicos están por debajo de ese nivel, siendo el organopónico 4 donde menor concentración se encontró.

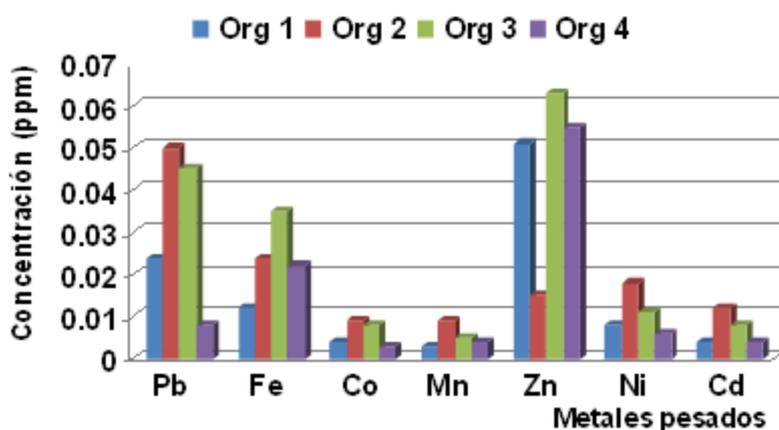


Figura 2. Concentración de metales pesados en el agua de riego

Para los metales Cu y Ni en los cuatro organopónicos las concentraciones encontradas superan al valor máximo permisible según Williams *et al.* (2000) y para ambos los valores más bajos corresponden al organopónico 4. El resto de los metales analizados están dentro de los parámetros normales para agua potable.

Concentración de metales pesados en los tejidos de la planta

Los niveles de concentración de hierro, cobalto y Zinc encontrados en tejidos de la planta de lechuga no muestra diferencias estadísticas entre organopónicos para $p < 0.05$ y sus valores están en el orden de los reportados por Phillip *et al.* (2000). Esto significa que estos elementos no varían sustancialmente en los tejidos vegetales cuando son cultivadas en diferentes lugares respecto al área urbana y periurbana de Santa Clara. (tabla 5)

Las mayores concentraciones de plomo se encontraron en los organopónicos 1 y 2 sin diferencia estadística entre ellos y sí con el 3

y éste a su vez con el 4. Una vez más queda claro que hay menor concentración de elementos en las áreas menos contaminadas. Estudios realizados en México indican un contenido de plomo de 0,22 mg/kg para cebolla y de 0,24 para lechuga. (Valle-Vega y López, 1982)

En los demás metales (Ni, Mn, Co y Cd) se observan menores valores en el organopónico 4 que se encuentra fuera de la ciudad, con niveles variables para los demás organopónicos. Esto demuestra que dentro del área urbana se concentran en los tejidos vegetales altos niveles de estos elementos sin grandes diferencias entre las posiciones o lugares donde se produzcan. Los valores encontrados también resultan superiores a los reportados por Williams *et al.* (2000).

Para el caso del cadmio los valores encontrados superan a los máximos permisibles para alimentos humanos (<1ppm) según (WORLD HEALTH ORGANIZATION—WHO, 1963, excepto en el organopónico 4 que se encuentra en niveles ligeramente inferiores a este máximo permisible.

Según Agencias e Instituciones especializadas como **USEPA:** (United States Environmental Protection Agency) **IACR:** (International Association for Research on Cancer) **ACGIH:** (International Symposium on Occupational Exposure Limits) **OSAH:** (Occupational Safety and Health Administration) varios metales pesados resultan cancerígenos o probables cancerígenos para los humanos.

IACR clasifica como probables cancerígenos humanos a Cd, Co y Pb.

También USEPA se refiere a que el Cd y Pb resultan probables elementos cancerígenos.

ACGIH/ OSAH evalúa al Cd como sospechoso de producir cáncer en humanos.

Todas estas instituciones coinciden en plantear que el Ni es un elemento cancerígeno.

En los resultados obtenidos para la concentración de los metales pesados presentes en los tejidos de las hojas de lechuga, puede observarse que las mayores concentraciones de los elementos analizados, excepto para el cadmio, pertenecen al organopónico Semillas de Combatientes (Tto 1) con diferencias significativas con respecto al organopónico Ernesto Guevara (Tto 4), prevaleciendo un amplio rango entre dichas concentraciones.

Peligrosidad de acumulación de metales pesados en tejidos de lechuga

A continuación nos referiremos a la peligrosidad intrínseca que se deriva de la acumulación de los metales más tóxicos contenidos en el tejido vegetal de los organopónicos referenciados. La tabla 6 contiene la comparación entre los LMR referidos por la Norma Cubana y codex internacionales de alimentación para los metales investigados en el presente estudio.

LMR: Estos límites máximos residuales representan el contenido máximo residual de la sustancia analizada que se permite que esté presente en un determinado alimento o grupo de alimentos; y son el resultado de estudios experimentales de acuerdo a las “Buenas Prácticas Agrícolas” (BPA).

Tabla 5. Concentración de metales pesados en los tejidos de la planta en los cuatro organopónicos (mg/L x 100 g de tejido seco)

Organ.	Pb	Ni	Mn	Fe	Cu	Co	Cd	Zn
1	10,597 a	14,8 a	51,433 a	279,35 a	12,867 a	4,217 a	1,415 b	38,4 a
2	10,105 a	10,187ab	36,917 b	200,217 a	9,098 b	3,433 a	1,667 ab	32,03 a
3	6,7 b	9,717 ab	52,258 a	247,05 a	12,9 a	3,455 a	2,058 a	34,05 a
4	3,623 c	5,908 b	30,883 b	194,3 a	6,73 c	3,45 a	0,917 c	36,38 a
EE±	0,6934	1,8974	4,529	32,849	0,7359	0,4091	0,1324	5,148

Letras diferentes denotan diferencias significativas según Duncan para un $P \leq 0,05$.

Tabla 6. Resultados del Límite máximo residual basado en criterios de IDA, ISA, ISAT o ISTP para metal en base a normas cubanas e internacionales

Metales	Pb	Cu	Fe	Co	Mn	Zn	Ni	Cd
LMR (X)	4,625	30	148	46,72	370	111	37	15,33
Organopónico	1,2,3>x>4	1,3>x2,4	1,2,3,4>x	x>1,2,3,4	x>3,1,2,4	x>2,1,4,3	1>x2,3,4	x>3,2,1,4

*mg xenobiótico/325 g de alimento

La tabla 6 refiere que el cálculo de la LMR mostró niveles de residualidad altos para el metal Pb en los organopónicos 1,2 y 3. El organopónico 4 fue el único que registró valores inferiores al LMR calculado.

Los metales Cu y Fe mostraron niveles superiores al LMR para todos los organopónicos, mientras que el Ni en el organopónico 1 mostró niveles superiores al calculado para LMR. El resto de los metales se ubicaron en los límites permisibles.

Propuesta de gestión ambiental para el desarrollo de la producción agrícola urbana de hortalizas de hojas en la ciudad de Santa Clara

1. Realizar estudios periódicos a las concentraciones de metales pesados en cultivos agrícolas urbanos que se desarrollan cercanos a las principales vías de acceso, vías férreas e industrias.
2. Caracterización físico, química y microbiológica de la materia orgánica utilizada como sustrato y del agua de riego en las producciones agrícolas urbanas.
3. Proponer para esta modalidad agrícola las producciones de hortalizas de hojas en zonas periurbanas de la ciudad.
4. Empleo de especies de plantas captadoras de contaminantes ambientales como barreras y de plantas indicadoras de metales pesados en los organopónicos urbanos.
5. Proponer la utilización de telas metálicas o de otro material alternativo con el objetivo de disminuir las concentraciones provenientes de los procesos de combustión y emanaciones industriales.
6. Desarrollar programas de capacitación ambiental sobre esta temática dirigidos a los tomadores de decisiones, dirigentes y productores agrícolas.

7. Buscar alternativas para la destoxificación o disminución de la concentración de metales pesados en los sistemas de producción agrícola urbana.

CONCLUSIONES

1. Los organopónicos y entidades agrícolas urbanas destinados a la producción de hortalizas, vegetales y condimentos frescos, se ubican indistintamente sin tener en cuenta las zonas de mayor y menor calidad ambiental, ni la cercanía a las principales vías de acceso o fuentes fijas de emisión de contaminantes.
2. Los organopónicos ubicados en el área urbana de la ciudad de Santa Clara presentan mayores niveles de concentración de metales pesados en agua, suelo y tejidos en relación con el ubicado en zona periurbana.
3. Se propone una serie de medidas a tener en cuenta para un mejor manejo ambiental de las producciones agrícolas urbanas de la ciudad de Santa Clara.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ayers R. and D. W Wescott: Water quality for agriculture, FAO, No. 29, 1985.
2. BOE (Boletín Oficial de Estado): Real Decreto 1310/1990, de 29 de Octubre, por el que se regula la Utilización de los lodos de depuración en el sector Agrario. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 262 pp., 1990.
3. Elfving D C.; C.A. Bache; D.L. Lisk and D.J. Lisk: "Lead content of vegetable millet and apple trees grown on soils amended with colored newsprint". *J. Agric. Food Chem.* 27(1):138, 1979.
4. NC NC-493: Contaminantes metálicos en alimentos, Regulaciones sanitarias, 2006.

5. Phillip, M.; C. Robert; R.C. James and M.R. Stephen: *Principles of toxicology: environmental and industrial application*, 2ed, A John Wiley & Sons. Inc publication, USA, 2000.

6. Valle-Vega, P.: "El lado tóxico de los alimentos". *Inf. Científica y Tecnológica* 7(100):5-25, 1985.

7. Williams, P.L; R.C. James and S.M. Roberts: *Toxicology. Environmental and industrial application*, Second Edition, JOHNWILEY & SONS, INC, 200 pp., 2000.

8. World Health Organization: International Standards for drinking water, 1963.

Recibido: 19/04/2010

Aceptado: 12/06/2010