

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS BIOSÓLIDOS SOBRE EL CULTIVO DE LA LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)

María Teresa Ortiz González¹
* José Víctor Tamariz Flores²
María Eugenia Lazcano Herrero¹
Rosalía del Carmen Castelán Vega²

*EVALUATION OF THE EFFECT OF BIOSOLIDS ON THE
LETTUCE CROP (*Lactuca sativa* L.)*

Recibido el 27 de octubre de 2012; Aceptado el 27 de marzo de 2013

Abstract

This paper presents a study of the distribution of heavy metals (Fe, Cd, Ni, Pb, Cr, Zn y Cu) in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.) grown in sandy soil amended with different rates of biosolid at nursery in order to evaluate the effect of biosolid on yield and quality of the crop. The content of assimilable metals with different rates of biosolid was analyzed with DTPA and its content in leaf, stem and root of lettuce was determined by the method of acid digestion (nitric acid/hydrogen peroxide) to the 60 days of development. The results showed that the amount of heavy metals by the biosolid incorporated under experimental conditions did not represent any risk to the successful development of lettuce and metal content in different parts of the plant did not exceed the tolerance threshold that could cause toxic effects for human consumption. In conclusion, this study indicates that higher rates of biosolid will improve the physicochemical characteristics of the soil, though not necessarily favor the yield of the selected crop. In general the application of biosolid not affects the quality of the plant and does not cause environmental problems.

Key words: biosolid, heavy metals, lettuce, treatments.

¹ Instituto Tecnológico de Puebla, México

² Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas-ICUAP de la Benemérita Universidad Autónoma, México

* *Autor correspondiente:* Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas-ICUAP de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 14 Sur 6301, Col. San Manuel, C.P. 72570, Puebla. Email: jose.tamariz@correo.buap.mx

Resumen

Se presenta un estudio de la distribución de metales pesados (Fe, Cd, Ni, Pb, Cr, Zn y Cu) en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en un suelo arenoso que fue enmendado con diferentes dosis de biosólido a nivel de vivero con el fin de evaluar su efecto en el cultivo en función de rendimiento y calidad. El contenido de metales asimilables con diferentes dosis de biosólido fueron analizados con el método DTPA y su contenido en hojas, tallo y raíz de la lechuga se determinaron mediante el método de digestión ácida (Ácido Nítrico/Peróxido de Hidrógeno) a los 60 días de desarrollo de la planta. Los resultados obtenidos indicaron que la cantidad de metales pesados aportados por el biosólido no representan en condiciones experimentales ningún riesgo para el buen desarrollo de la lechuga y que el contenido de metales en las diferentes partes de la planta no superó el umbral de tolerancia que pudiera causar efectos tóxicos para consumo humano. En conclusión, en este trabajo se expone que a mayor dosis de biosólido se mejoran las características fisicoquímicas del suelo, sin embargo no necesariamente se favorece el rendimiento del cultivo seleccionado. En general la aplicación del biosólido no afecta la calidad de la planta, ni causa problemas ambientales.

Palabras clave: biosólido, metales pesados, lechuga, tratamientos.

Introducción

Hoy en día, la necesidad de minimizar residuos así como su disposición adecuada y segura es de importancia para la disminución del impacto ambiental. Esto ha conducido a la búsqueda de alternativas permitan obtener residuos menos peligrosos y más estables para su correcta disposición o reaprovechamiento con el fin de contribuir al desarrollo sustentable. Ante estas circunstancias surge la necesidad de aprovechar los biosólidos como un recurso para incrementar la fertilidad de los suelos, debido a que son materiales orgánicos ricos en nutrimentos y que ofrecen una oportunidad para proveer de nitrógeno a los cultivos y suministrar otros nutrimentos como: fósforo, hierro, zinc y cobre para la planta (Frezquez *et al.*, 1999). Sin embargo, dicha aplicación presenta algunos aspectos negativos, como la presencia de metales pesados y microorganismos patógenos. El contenido de metales pesados representa la principal limitación para su uso agrícola (Bidwell y Dowdy 1986, Brams y Anthony 1988, Delgado *et al.*, 2000), por lo que resulta necesario vigilar las cantidades mínimas de estos tanto en el suelo como en los tejidos vegetales.

En México el manejo y disposición final de los biosólidos empieza a ser atendido, son pocas las ciudades que se les da un uso benéfico, tal es el caso de la ciudad de Puebla donde actualmente se han aplicado a terrenos agrícolas para la producción del maíz en localidades como San Francisco Totimehuacán, San Baltazar Tetela, Santa María Malacatepec, San Andrés Azumiatla y la Paz Tlaxcolpan, en donde se ha visto que dicha aplicación ha traído beneficios en la fertilidad de los suelos y en la producción del maíz. Sin embargo aún falta por explorar otros tipos de cultivos de interés regional como es el caso de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) que permitan la aplicación de los biosólidos sin que cause impactos negativos al ambiente y a la salud pública.

Metodología

Muestreo

El biosólido utilizado en este estudio proviene de la planta tratadora de agua residual Atoyac Sur de la Ciudad de Puebla, el cual es aplicado en la comunidad de San Andrés Azumiatla que es una zona de temporal ubicada al Sur de la ciudad. De esta comunidad se muestreó suelo, cuya característica corresponde a un suelo con baja fertilidad para uso agrícola. Las muestras de biosólido y suelo fueron secadas a temperatura ambiente y a la sombra, y tamizadas en malla de acero inoxidable del número 10. Se almacenaron adecuadamente para realizar análisis fisicoquímicos como lo establece la NOM-004-SEMARNAT-2002. En la tabla 1, se muestran algunas características fisicoquímicas del biosólido y del suelo.

Tabla 1. Resultados de los análisis fisicoquímicos del biosólido y suelo

Parámetro	Biosólido	Suelo
pH 1:2 [suelo: agua]	7.3	7.22
Conductividad eléctrica [dS/m]	1.9	0.51
Materia Orgánica [%]	13.04	5.65
Nitrógeno [ppm]	781	105
Fósforo [ppm]	33.22	41
Sodio (Na) [Cmol/kg suelo]	35.478	3.826
Potasio (K) [Cmol/Kg suelo]	50.534	0.307
Magnesio (Mg) [Cmol/kg suelo]	75.025	0.237
Calcio (Ca) [Cmol/kg suelo]	16.360	9.00

Tratamientos

Para la aplicación de biosólido al suelo, se tomó el criterio de Límite de Carga Anual de Contaminante (USEPA 1995), tomando como base de cálculo la cantidad máxima de biosólido que se viene aplicando al suelo del municipio San Andrés Azumiatla (140 ton/ha) para cultivo de maíz, por lo que se prepararon tres diferentes dosis en la mezcla suelo/biosólido más una que está conformada sólo por suelo, con las siguientes relaciones en macetas de prueba. Ver tabla 2.

Tabla 2. Composición de los tratamientos

Tratamiento	Relación	Suelo (Kg)	Biosólido (Kg)	No. de Plántulas por maceta	Repeticiones
To	1:0	3	S/B	2	3
T1	3:1	2.25	0.75	2	3
T2	1:1	1.5	1.5	2	3
T3	1:3	0.75	2.25	2	3

Para cada tratamiento se sembraron 2 plántulas de lechuga *Lactuca sativa L.* de la variedad *CoolGuard* en macetas con capacidad de 3 kg y se realizaron repeticiones por triplicado de cada tratamiento. El experimento se estableció en el periodo marzo-mayo 2011, en un vivero tipo rústico (traspatio) que es de nivel tecnológico bajo según la clasificación de Rijkb P. (2001). La manera en que se colocaron los tratamientos para el cultivo fue de acuerdo al Diseño de Bloques Completos al Azar. La forma de riego para estas plantas fue cada tercer día con un volumen aproximado de 600 ml, por cada maceta y cada semana se monitorearon variables como vigor, altura de la planta y apariencia de las hojas. Al final del experimento se obtuvo el peso final de cada planta. Las metodologías para la caracterización fisicoquímica en los tratamientos y en el biosólido fueron en base a las Normas Oficiales Mexicanas NOM-021-SEMARNAT-2000 y la NOM-004-SEMARNAT-2002. Los parámetros analizados fueron: pH, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica. La extracción de metales se realizó por el método DTPA (ácido del dietilen-triamino-pentaacético) (Lindsay y Norvel 1978). El contenido de metales en la lechuga se determinó en hojas, tallo y raíz mediante el método EPA 3051 digestión ácida (Ácido Nítrico/Peróxido de Hidrógeno). La determinación de los metales se realizó por Espectrometría de Absorción Atómica (Varian-SpectraAA-55B).

Análisis estadísticos

Se realizó el análisis estadístico de los datos obtenidos utilizando el análisis de varianza de un solo factor (ANOVA) y la correspondiente comparación de medias empleando la prueba de Dunnet para una probabilidad de 5% ($\alpha=0.05$).

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos ponen en manifiesto que los biosólidos no rebasan los límites máximos permisibles de los metales según la NOM-004-SEMARNAT-2002, y que corresponden a un biosólido de buena calidad. Como se puede observar en el tabla 3, las concentraciones obtenidas para los metales más tóxicos como lo es el Cd y el Pb son menores comparadas con los límites establecidos para biosólidos por la norma oficial mexicana y por las legislaciones de los EUA (USEPA, 1995).

Dichos resultados son similares a los reportados por González, (2006) quien también trabajó con lodos con características semejantes, por lo tanto se puede decir que estos biosólidos pueden ser aplicados a suelos con el fin de mejorar sus propiedades y elevar el contenido de nutrientes.

Tabla 3. Caracterización de biosólidos en función al contenido de metales pesados

Metal	Valor mg/kg de Biosólido	Limite para su aplicación en suelos NOM-004-SEMARNAT- 2002		USEPA 503		Comunidad Europea	
		Excelente	Bueno	L.G	C.E	pH<7	pH>7
Mn	280	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Fe	8400	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Cd	2	39	85	85	39	20	40
Ni	167	420	420	420	420	300	400
Pb	70	300	840	840	300	750	1200
Cr	1	1 200	3 000	NA	NA	1000	1750
Zn	1800	2 800	7 500	7500	2800	2500	4000
Cu	176	1 500	4 300	4300	1500	1000	1750

NA: No aplica, L.G.: Limite General, C.E: Calidad Excelente

De acuerdo con la caracterización fisicoquímica de los tratamientos con diferentes dosis de biosólidos se puede apreciar en el la tabla 4 que el pH no cambió con la adición de éstos. La conductividad eléctrica se vio ligeramente afectada debido al contenido de sales presentes en los biosólidos.

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas en diferentes tratamientos

Parámetro	To	T1	T2	T3	Límites y Especificaciones por la NOM-021-SEMARNAT- 2000
pH 1:2/ suelo: agua	7.22	7.15	7.21	7.17	Suelos neutros
Conductividad eléctrica [dS/m]	0.51	0.85	0.66	0.97	Efectos despreciables de salinidad
Materia Orgánica [%]	5.64	7.26	8.88	12.91	4.1-6 Bajo, 6.1-10.9 Medio y 11-16 Alto
Nitrógeno [ppm]	41.67	140	105	268.33	> 60 muy alto
Fósforo disponible [mg/kg]	12.84	24.78	27.58	31.64	> 11 alto
Manganeso [ppm]	10	3.5	4.88	4.1	>1 Adecuado
Hierro [ppm]	13.88	86.6	62.2	145.8	> 4.5 Adecuado
Cadmio [ppm]	0.08	1.48	1.7	1.4	3-5 Peligroso
Níquel [ppm]	3.88	5.22	4.38	11.14	100 Peligroso
Plomo [ppm]	6.84	15.58	15.56	7.4	100-300 Peligroso
Cromo [ppm]	0.02	0.18	0.16	0.14	NA
Zinc [ppm]	21.4	141	186	196.4	>1 Adecuado
Cobre [ppm]	2.34	11.14	9.48	3.52	> 0.2 Adecuado

Se puede observar en la tabla No. 4 que el contenido de elementos tóxicos en el suelo se encuentra en niveles bajos de acuerdo con los valores sugeridos por la Norma Oficial Mexicana. Se aprecia que todos los tratamientos con biosólido tuvieron un aumento notorio en los micronutrientes (Fe, Zn, Mn y Cu), destacando el zinc como el micronutriente predominante en todos los tratamientos, haciéndose más evidente para los tratamientos T2 y T3. Estos resultados son similares a los de Postisecet *al.*, (2010) quienes evaluaron el contenido de materia orgánica, macro y micronutrientes en el suelo. Después de aplicar biosólidos estabilizados, ellos encontraron que el orden de acumulación de micronutrientes fue de Zn>Fe>Mn>Cu y que a mayor dosis de biosólidos incrementa la concentración de nitrógeno y fósforo aprovechable en el suelo. La alta biodisponibilidad del zinc, probablemente se deba a su presencia en forma de carbonatos y a la tendencia de este metal a ser adsorbido en las partículas de arcilla presentes en el biosólido (Alloway, 1990).

Con respecto a la cantidad de materia orgánica, así como de nitrógeno y fósforo disponible se incrementó en comparación con el contenido inicial, esto es también más notorio en los tratamientos T2 y T3 por tener más concentración de biosólido (tabla 4).

En cuanto al rendimiento en el cultivo de lechuga con las diferentes dosis de biosólido se observó que el tratamiento T2 tuvo un efecto significativo en el desarrollo (altura) y en la producción de biomasa vegetal (peso) (Tabla 5, Figura 1).

Tabla 5. Significancia del rendimiento del cultivo de lechuga en función de la altura y peso en seco

Tratamiento	Altura	Peso
To	NS	NS
T1	NS	NS
T2	S	S
T3	NS	S

Los resultados corresponden a la comparación de diferencia de medias en valor absoluto Vs el valor calculado "D" de la prueba de Dunnet con un $\alpha=0.05$

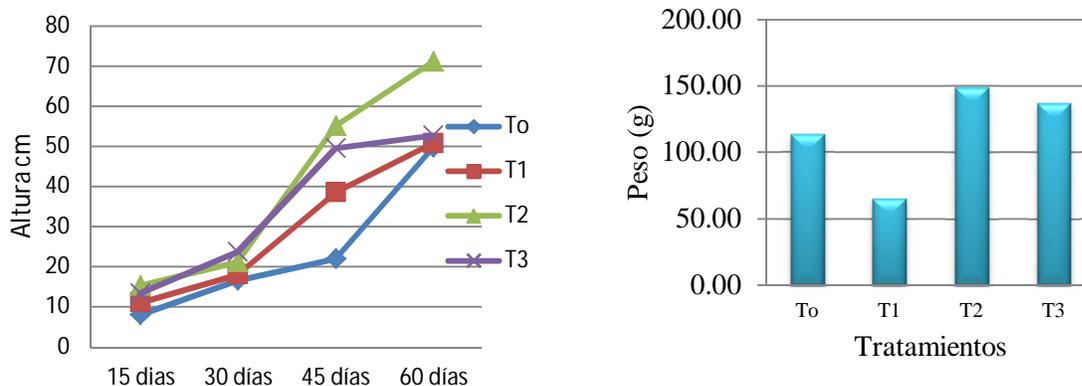


Figura 1. Dinámica de crecimiento y peso en seco de la lechuga en los diferentes tratamientos

Con respecto al contenido de metales pesados en hojas, tallo y raíz de la planta se obtuvo que el hierro fue el metal cuya concentración predominó para todos los tratamientos, estos resultados son similares a los publicados por Carrasco *et al.*, (2005) quienes evaluaron la biodisponibilidad de manganeso, hierro, cobre y zinc en el cultivo de la lechuga tratada con biosólidos.

A través del análisis de ANOVA y la aplicación de la prueba de rango múltiple de Dunnet se pudo valorar la significancia de bioacumulación de los metales en hojas, tallo y raíz de la lechuga, cuyos resultados se pueden apreciar en las tablas: 6, 7 y 8.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede decir que en las hojas de la lechuga para todos los tratamientos no se detectaron los metales Ni, Cd, Pb y Cr. Con respecto a la concentración de Fe, Mn y Zn, el tratamiento T2 fue significativo. Estos resultados son similares a los publicados por Carrasco *et al.*, (2005) quienes evaluaron la biodisponibilidad de Mn, Fe, Cu y Zn en el cultivo de la lechuga tratada con biosólidos. Por otra parte, Mendoza *et al.*, (2004) demuestran que el efecto del biosólido cuando se aplica en tasas agronómicas altas, afecta el rendimiento de la lechuga y sus hojas se ven dañadas por la acumulación de Cu, Cd, Ni, Pb y Zn, lo cual no ocurrió en este experimento muy probablemente debido a que no se encontraron Cd, Ni, Cr y Pb. Ver tabla 6 y figura 2.

Tabla 6. Significancia de la concentración de metales pesados encontrados en las hojas de lechuga

Tratamiento	Fe	Mn	Zn
To	NS	NS	NS
T1	NS	S	NS
T2	S	S	S
T3	NS	NS	NS

Los resultados corresponden a la comparación de diferencia de medias en valor absoluto con el valor "D" que se obtuvo en la prueba de Dunnet con un $\alpha = 0.05$.

Por otro lado, en el tallo de la lechuga también se descarta la presencia de Pb y Ni para todos los tratamientos, sin embargo sí se encontró Cd en el tratamiento T3 siendo éste el más significativo para dicho metal al igual que para los demás elementos hallados como el Fe, Cu, Mn y Zn; para el tratamiento T2 también fue significativo para éstos elementos a excepción del Zn y del Cd, y T1 para el Fe y Cu. Ver tabla 7 y Figura 2. El efecto de la aplicación de biosólidos aumentó la cantidad de MOS por lo cual los procesos de quelatación de los metales en suelos es mayor, disminuyendo la cantidad disponible de estos metales para los cultivos. En cuanto al contenido de metales encontrados en la raíz de la lechuga se aprecia que en esta parte de la planta se tuvo más acumulación. El tratamiento T3 fue el más significativo con lo referente al contenido de Cd, Fe, Cu, Mn y Zn y el tratamiento T2 solo lo fue para el Cu y Zn. Ver tabla 8.

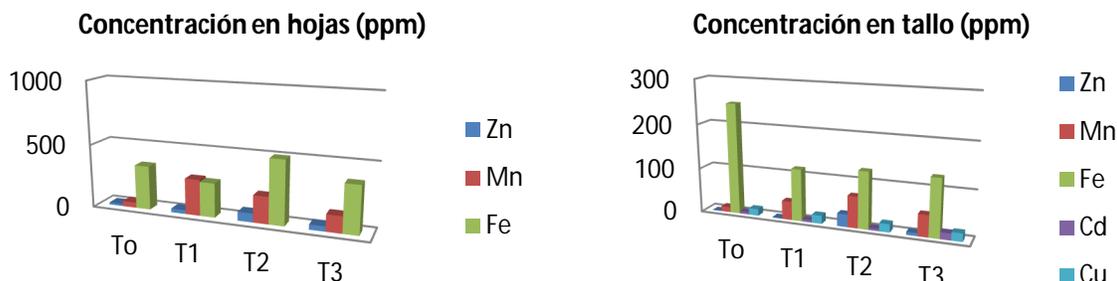


Figura 2. Metales encontrados en lechuga

Tabla 7. Significancia de la concentración de metales pesados encontrados en el tallo de lechuga

Tratamiento	Cd	Fe	Cu	Mn	Zn
To	NS	NS	NS	NS	NS
T1	NS	S	S	NS	NS
T2	NS	S	S	S	S
T3	S	S	S	S	NS

Los resultados corresponden a la comparación de diferencia de medias en valor absoluto Vs el valor calculado "D" de la prueba de Dunnet con un $\alpha=0.05$

Tabla 8. Significancia de la concentración de metales pesados encontrados en la raíz de lechuga

Tratamiento	Cd	Fe	Cu	Mn	Zn
To	NS	NS	NS	NS	NS
T1	NS	NS	NS	NS	NS
T2	NS	NS	S	NS	S
T3	S	S	S	S	S

Los resultados corresponden a la comparación de diferencia de medias en valor absoluto Vs el valor calculado "D" de la prueba de Dunnet con un $\alpha=0.05$

Otros estudios sobre el efecto de biosólidos a la agricultura (Benitez *et al.*, 2001, Black *et al.*, 2011, Chenet *et al.*, 2008) indican que altas concentraciones de zinc y cobre se acumulan más en la raíz de la planta cuando se tiene mayor contenido de biosólidos, dando como consecuencia bajos rendimientos en los cultivos. Sin embargo, en este estudio, a pesar que el hierro fue el elemento mayoritario en la parte vegetativa (hojas, tallo y raíz) para los tratamientos, no sobrepasa el valor de toxicidad en plantas de cultivo ($>500 \text{ mg Kg}^{-1}$) (Kabata-Pendias y Pendias 1992). Normalmente, los elementos que se consideran esenciales para el crecimiento de la planta presentan mayor tendencia a la movilidad hacia la parte del fruto u hojas, y los metales

no esenciales y/o tóxicos se suelen acumular en las raíces (Rodríguez *et al.*, 2008). Aunado a lo anterior se puede decirse que la lechuga es un buen acumulador de elementos traza principalmente de hierro, magnesio, cobre y zinc, y que su rendimiento no se vio afectado con los tratamientos (Céliset *al.*, 2006).

Conclusiones

Los tratamientos muestran que los biosólidos mejoran las propiedades de materia orgánica, nutrientes (P y N) y micronutrientes (K, Na, Mg, Ca, Zn), a mayor contenido de biosólido aumentan éstos. El rendimiento del cultivo seleccionado aumenta con la dosis, pero el tratamiento T2 (1:1 Suelo, Biosólido) es mejor que el tratamiento T3 (1:3 Suelo, Biosólido), por lo que no necesariamente el rendimiento se favorece con grandes cantidades de nutrientes como lo presentó el tratamiento T3.

Con respecto a la bioacumulación de metales pesados en la lechuga, para todos los tratamientos se encontró que no hay acumulación de níquel y plomo en todo el tejido de la planta, además de estos elementos traza mencionados, se descarta la presencia de cadmio, cobre y cromo en las hojas y cromo en el tallo por lo cual resulta favorable la aplicación de los biosólidos para este cultivo.

Referencias bibliográficas

- Benitez E., Romero E., Gómez M., Gallardo F., y Nogales R. (2001). Biosolids and biosolids-ash as sources of heavy metals in a plant-soil system. *Water, Air and Soil Pollution*. **Vol. 132**, 75-87
- Bidwell A. M. y Dowdy R.H. 1986. Cadmium and Zn availability to corn following termination of sewage sludge applications. *J. Environ.* **Vol. 16**, 438-442.
- Black A., Ronald G., Suzanne M., Speir T., and Condrón L. 2011. Evaluation of soil metal bioavailability estimates using two plant species (*L. perenne* and *T. aestivum*) grown in a range of agricultural soils treated with biosolids and metals salts. *Environment Pollution*. **Vol. 159**, 1523-1535
- Brams E. y Anthony W. 1988. Residual cadmium in soil profile and accumulation in wheat grain. *Plant and Soil*. **Vol. 109**, 3-8
- Carrasco M. A., León O., Solís L., Ahumada I., Castillo M. y Sadzawka A., 2005. Evaluación de biodisponibilidad de Mn, Fe, Cu y Zn en Suelos Tratados con biosólidos usando lechuga y ballica. Memorias del X Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (en prensa), Aula Magna de la Universidad de Chile, Sede Antumapu. (Trabajo no publicado).
- Célis J., Sandoval M., Zagal E. y Briones B. 2006. Efecto de la adición de biosólidos urbanos y de salmonicultura sobre la germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un suelo patagónico. *Rev. Ciencia Suelo Nutrición vegetal*. **Vol. 6**. No. 3, 13-25
- Chen W., Chang A., Laosheng W. y Zhang Y. 2008. Metal uptake by corn grow on media treated with particle-size fractionated biosolids. *Sci. Total Environ.* **Vol. 392**, 166-173.
- Delgado M., Porcel M. A., Miralles R., Beltrán E., García J., Bellido N. y Bigeriego M. 2000. Empleo de compost de depuradora como fertilizante en cultivo de maíz. *Vida Rural*. **No. 109**, 24-26
- González Flores E. 2006. Especiación de metales pesados en biosólidos destinados a uso agrícola. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico de Puebla. 130, 210 pp.



- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 1992. Trace elements in plants in: Trace elements in soils and plants. 3rd ed. CRC.USA 365 p.
- Lindsay W. y W. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *J. SoilSci. Soc. Am.* **Vol. 42:** 421-428
- Secretaría de Medio Ambientes y Recursos Naturales. NOM-004-SEMARNAT-2002. Y NOM-021-SEMARNAT-2000.
- USEPA. 1995. Pollutant limits. In: Standard for the use and disposal of sewage sludge: 40 CFR Parts 403 and 503. USA.